A.

Math. A. 327 p

38

Praktische
Dioptrik
als
vollständige und gemeinfaßliche Anleitung
zur
Verfertigung achromatischer Fernröhre.

Nach den neuesten Verbesserungen und Hülfsmitteln,
und eigenen Erfahrungen.

HAUPT CONSERVATORIUM DER ARMEE

Von
Johann Joseph Prechtl,
k. k. wirkl. n. ö. Regierungsrathe, Direktor des k. k. polytechnischen Instituts, ehemal. öff. ordentl. Professor der Physik und Chemie; Mitgliede der k. k. Landwirthschaftsgesellschaften in Wien, Grätz und Laibach, der k. k. Gesellschaft des Ackerbaues, der Natur- und Landeskunde in Brünn, Ehrenmitgliede der Akademie des Ackerbaues, des Handels und der Künste in Verona, korrespond. Mitgliede der königl. baier. Akademie der Wissenschaften, der Gesellschaft zur Beförderung der nützlichen Künste und ihrer Hülfswissenschaften zu Frankfurt am Main, auswärtigem Mitgliede des polytechnischen Vereins für Baiern, und ordentl. Mitgliede der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaft zu Marburg; Ehrenmitgliede des Vereins für Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen, der ökonomischen Gesellschaft im Königreiche Sachsen, und der märkischen ökonomischen Gesellschaft zu Potsdam.

Mit vier Kupfertafeln.

Wien, 1828.
Im Verlage von J. G. Heubner.

Ga 67 1683

Math. A. 327 p

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Altbestand 6538

116 BG

Vorrede.

Bei der Abfassung der nachfolgenden Abhandlung war es meine Absicht, den Künstlern und Liebhabern, welche sich mit der Verfertigung der achromatischen Fernröhre befassen, einen Leitfaden in die Hand zu geben, der sie vollkommen in den Stand setzt, diese optischen Instrumente mit jenem Grade der Vollendung herzustellen, welchen sie nach dem heutigen Zustande der Wissenschaft und Kunst erreichen können, und dabei sowohl durch eine gemeinfaßliche Darstellung der Gründe des Verfahrens, als durch die genaue Angabe solcher Hülfsmittel, deren Anwendung ohne ausgebreitete Vorkenntnisse möglich ist, die Ausübung dieser schönen Kunst (in welcher auf bloß empyrischem Wege durchaus nur höchstens das Mittelmäßige zu erreichen ist), zu erleichtern, und die Schwierigkeiten zu entfernen, welche dieser Ausübung bisher im Wege standen.

Der nachstehende Unterricht setzt daher nichts voraus, als die ersten Elementarkenntnisse der Mathematik, nämlich außer der gewöhnlichen Rechnung die Buchstabenrechnung in soweit, um die Auflösung einfacher

algebraischer Formeln in Zahlen zu bewerkstelligen, die Kenntniß und Einübung in der Logarithmenrechnung, und das Nöthige aus der Geometrie, um die Berechnung der trigonometrischen Größen mit Logarithmen bewerkstelligen zu können. Diese mathematischen Elementarkenntnisse, zu deren leichter Erwerbung heut zu Tage so viel Gelegenheit offen steht, sind Jedem, der in optischen Gegenständen etwas leisten will, eben so unentbehrlich, als dem Kontoristen die Gewandtheit im Rechnen und Buchhalten, dem Droguisten die Kenntniß seiner Materialien u. s. w; und sie gehören wesentlich zu den ersten Bedingungen der Ausübung der Kunst.

Ich habe mich übrigens in der Behandlung des Ganzen immer bestrebt, die Gegenstände sowohl durch die Art der Darstellung als der Aufeinanderfolge und Vertheilung deutlich und leicht verständlich zu machen; und mit Vermeidung von theoretischen Abschweifungen nur dasjenige betrachtet, was für die Praxis unentbehrlich ist, ohne da, wo es die nähere Beschaffenheit des Gegenstandes erläutern konnte, die Darlegung der Gründe zu vernachlässigen. Die Erfindung des Fernrohrs und des achromatischen im besonderen ist eine der größten Zierden des menschlichen Scharfsinnes. Es gibt kaum eine Erfindung, deren Resultat mehr an das Wunderähnliche gränzt, als die Wirkung eines vollkommenen Fernrohres, das einen entfernten Gegenstand, von welchem das Auge nichts wahrzunehmen im

Stande ist, demselben klar und deutlich in die Nähe bringt. Unter so vielen Künsten ist wohl kaum eine mehr würdig, von dem gebildeten Manne als erhohlende Nebenbeschäftigung gewählt zu werden, da das Geistige in der Ausübung dieser Kunst mehr noch den bloß mechanischen Theil überwiegt, und bei jedem Schritte in derselben, Verstand und Scharfsinn Nahrung finden.

Dagegen duldet diese wissenschaftliche Kunst, wenn sie nicht zur bloßen Glasschleiferei herabgebracht werden soll, auch nichts Mittelmäßiges, und jeder, der sich mit derselben beschäftiget, muß sich Mühe geben, so viel zu leisten, als nur immer möglich ist. Wie viel hierin gethan werden könne, zeigen die Achromaten des sel. Fraunhofer, und diese, welche in allen Rücksichten die vollkommensten sind, die man bisher in irgend einem Lande dargestellt hat, müssen dem Künstler als Vorbild und Muster seines Strebens dienen.

Die in dieser Abhandlung mitgetheilte, nach der von J. F. W. Herschel aufgestellten Formel berechnete Tafel, gibt die Werthe der Krümmungshalbmesser des achromatischen Objektivs nahe übereinstimmend mit der Konstruktion der Fraunhofer'schen Objektive, wie an seinem Orte durch mehrere Beispiele gezeigt worden ist. Die Werthe dieser Tafel sind unterdessen für die absoluten Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse, die den angewendeten Glasarten entsprechen, nicht voll-

kommen genau, und weichen in einzelnen Fällen etwas mehr, in andern weniger von den wahren ab; weil die bei dieser Tafel angewendete einfache Interpolirung nicht völlig genau ist. Für die gewöhnlichen Fälle selbst bis zu ansehnlichen Oeffnungen, ist unterdessen dieser Grad von Genauigkeit völlig hinreichend. Will man jedoch Objektive von sehr bedeutender Oeffnung, deren Vollendung ohnehin unverhältnißmäßig mehr Mühe und Sorgfalt kostet (§. 240), herstellen; so thut man wohl, die Krümmungshalbmesser unmittelbar aus der Formel selbst zu berechnen, um dieselben so genau wie möglich zu erhalten. Ich setze deßhalb die von Herschel entwickelte Formel, mit der Anleitung, wie nach derselben zu rechnen ist, hieher, damit man im nöthigen Falle unmittelbar zur Quelle zurückzugehen im Stande sey.

Es sey:

Der Brechungsinder für das Spiegelglas . = n
= = = = Flintglas . = n′
Der Zerstreuungsexponent . . . = ω
Fokaldistanz des Doppelobjektivs . . = L
Halbmesser der ersten Fläche . . . = R
= = = dritten Fläche . . . = R′

Wegen Vereinfachung des Ausdrucks sey ferner

$$\frac{1}{L} = l$$

$$\frac{1}{R} = r$$

$$\frac{1}{R'} = r'$$

so ist:

$$\text{I)}\quad \left(\frac{n+2}{n}\right)r^2 - \frac{2n+1}{n-1}\cdot\frac{1}{1-\omega}lr + \frac{l^2}{(1-\omega)^2}$$
$$\left\{\left(\frac{n}{n-1}\right)^2 - \left(\frac{3n'+2}{n'}\right)\omega + \left(\frac{3n'+1}{n'-1}\right)\cdot\omega^2\right.$$
$$\left. - \left(\frac{n'}{n'-1}\right)^2\omega^3\right\} + lr'\cdot\frac{\omega}{1-\omega}\left\{\left(\frac{4n'+4}{n'}\right)\right.$$
$$\left. - \left(\frac{2n'+1}{n'-1}\right)\omega\right\} - \left(\frac{n'+2}{n'}\right)\omega r'^2 = 0$$

$$\text{II)}\quad \left(\frac{4n+4}{n}\right)r - \left(\frac{4n'+4}{n'}\right)\omega r' - \frac{1}{1-\omega}\cdot l$$
$$\left\{\left(\frac{3n+1}{n-1}\right) - \left(\frac{6n'+4}{n'}\right)\omega + \left(\frac{3n'+1}{n'-1}\right)\omega^2\right\}$$
$$= 0.$$

Aus diesen beiden Gleichungen werden die beiden Halbmesser r und r' gefunden, nachdem die übrigen Größen, n, n', ω und l gegeben sind. Der leichteren Rechnung wegen nimmt man dabei $l = 1$ an. Man benennt nun die verschiedenen Koefficienten folgendermaßen:

Es sey:

$$A = \frac{4n+4}{n}$$

$$B = \frac{4n'+4}{n'}\cdot\omega$$

$$C = \frac{1}{1-\omega}\left\{\left(\frac{3n+1}{n-1}\right) - \left(\frac{6n'+4}{n'}\right)\omega + \left(\frac{3n'+1}{n'-1}\right)\omega^2\right\}$$

$$D = \frac{n+2}{n}.$$

$$E = \frac{2n+1}{n-1} \cdot \frac{1}{1-\omega}.$$

$$F = \frac{1}{(1-\omega)^2}\left\{\left(\frac{n}{n-1}\right)^2 - \left(\frac{3n'+2}{n'}\right)\omega + \frac{3n'+1}{n'-1}\omega^2 - \left(\frac{n'}{n'-1}\right)^2\omega^3\right\}$$

$$G = \frac{\omega}{1-\omega}\left\{\left(\frac{4n'+4}{n'}\right) - \left(\frac{2n'+1}{n'-1}\right)\omega\right\}$$

$$H = \left(\frac{n'+2}{n'}\right)\omega.$$

Hiernach ergibt sich aus der Gleichung II

$$r' = \frac{Ar - C}{B} \quad \text{(negativ)}$$

Man benenne nun weiter, die nach der Substitution dieses Werthes in der ersten Gleichung sich ergebenden Koefficienten:

$$s = DB^2 - A^2H \text{ (negativ)}$$

$$t = ABG + 2ACH - EB^2 \text{ (positiv)}$$

$$c = FB^2 - BCG - HC^2 \text{ (negativ)}$$

so erhält man aus der Gleichung I

$$\text{(positiv)} \quad r = -\frac{t}{2s} - \sqrt{-\frac{c}{s} + \frac{t^2}{4s^2}}$$

Man muß also: 1) zuerst die Werthe von A...H,

welche keine anderen Größen als n, n' und ω enthalten, in Zahlen berechnen. 2) Mit diesen Werthen berechnet man sonach die Werthe von s, t und c, und 3) mit diesen wird der Werth von r aus der letzten Formel berechnet. Sonach erhält man 4) auch den Werth von r' durch Substitution des gefundenen Werthes von r.

Diese Werthe gelten für $\frac{1}{L} = 1$. Um also diese Halbmesser für eine bestimmte Fokaldistanz des Doppelobjektivs = F zu erhalten; wird diese Fokaldistanz durch die gefundenen Werthe von r und r' dividirt. Aus diesem ersten und dritten Krümmungshalbmesser werden nun die zwei übrigen Halbmesser für die durch das Zerstreuungsverhältniß gegebenen Fokaldistanzen der beiden Linsen durch die gemeine Formel auf eben dieselbe Art berechnet, wie dieses in der vorliegenden Schrift angegeben ist. — Die Ausführung dieser Rechnung erfordert zwar Aufmerksamkeit und Geduld, hat aber keine Schwierigkeit, wenn man mit den Logarithmen umzugehen weiß, ohne welche überhaupt solche Rechnungen nicht ausgeführt werden können.

Die nach dieser Formel berechneten Doppelobjektive sind für die in dem §. 174 angegebenen Verhältnisse zwischen der Oeffnung, Fokaldistanz und Vergrößerung, von den beiden Abweichungen, der sphärischen sowohl, als der chromatischen, sowohl für parallele,

als für die von näheren Gegenständen kommenden divergenten Strahlen, frei, vorausgesetzt, daß der Gegenstand in der Verlängerung der Axe des Fernrohrs liegt, und daß die Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse richtig genommen sind. Die unbedeutenden, unvermeidlichen Rückstände dieser Abweichungen kommen in dem Fernrohre bei jenen Verhältnissen nicht zum Vorschein (Vergl. §. 171 Anmerk.)

Bei den durch die Tafel des Herrn Direktors Littrow angegebenen Dimensionen (§. 114) fallen die Krümmungshalbmesser der drei ersten Flächen des Objektivs nahe zusammen; man kann daher für kleinere Objektive ohne bedeutenden Fehler diese Halbmesser gleich nehmen, wodurch die Ausführung sehr erleichtert, und nur ein Schleifschalen-Paar für die drei ersten Halbmesser nöthig wird. Künstler und Liebhaber, welche in der zu diesen Arbeiten gehörigen Genauigkeit noch weniger geübt sind, werden diese Objektive leichter bis zu einem gewissen Grade von Vollkommenheit herzustellen im Stande seyn, als die ersteren.

Die Herstellung eines wellenfreien Glases ist für die Ausführung vollkommener achromatischer Objektive eine wesentliche und unerläßliche Bedingung. Ich hoffe durch die Angabe der Bedingungen und Verfahrungsarten, von welchen die Verfertigung eines solchen Glases abhängt, den Glasfabrikanten und Künstlern auch in dieser Hinsicht nützlich zu seyn.

Ueber die aplanatischen (abweichungsfreien) Objektive mit Flüssigkeiten wird in der vorliegenden Schrift darum nichts näheres vorgebracht, weil diese, zuerst von Dr. Blair ausgeführten, Objektive in der praktischen Ausübung keine Empfehlung verdienen, und auf keine Weise den guten Objektiven aus Flint- und Spiegelglas gleich gesetzt werden können. Bei dem Terpentinöhl, welches dazu verwendet wird, sind zwar in Verbindung mit Glas die Zerstreuungsverhältnisse der verschiedenfarbigen Strahlen so wenig von einander abweichend, daß das zurückbleibende sekundaire Spektrum so gut als aufgehoben angesehen werden kann (§. 296, Anmerk.); und in dieser Hinsicht ist durch ein solches Objektiv eine Vollkommenheit erreichbar, die durch Anwendung des Flintglases wohl nicht erzielt werden kann. Ein solches Objektiv unterliegt jedoch einer viel größeren Unvollkommenheit durch die großen Aenderungen, welche die Flüssigkeit bei jeder, wenn gleich unbedeutenden Temperaturveränderung in ihrem Brechungs- und Zerstreuungsvermögen erleidet, was dann auf die Deutlichkeit des Bildes den nachtheiligsten Einfluß hat, besonders da diese Temperaturunterschiede in verschiedenen Theilen der Flüssigkeit verschieden sind. Daher kommt es, daß ein solches Objektiv zu einer Zeit vortreffliche Wirkung leistet, während es zu einer anderen kaum brauchbar ist. Dadurch wird seine astronomische Verwendung in hohem Grade beschränkt; und dem Gebrauche eines sol-

chen Objektives für ein terrestrisches Rohr steht dessen Gebrechlichkeit entgegen. Ueberdem hat es eigene Schwierigkeiten, die Flüssigkeit zwischen den beiden Gläsern auf eine genügende Art zu verschließen; so daß man sich nicht wundern darf, warum diese Objektive keine praktische Verbreitung erlangt haben.

Endlich muß ich noch erinnern, daß die Ausführung der zusammengesetzten Mikroskope in dieser Schrift darum nicht behandelt worden ist, weil sie mit dem nächsten Gegenstande derselben nicht in nothwendiger Beziehung steht, und sie überdem ohne die vorgängige Kenntniß der katoptrischen Instrumente nicht vollständig vorgetragen werden kann.

Wien den 1. Jänner 1828.

Der Verfasser.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Einleitung.

Von dem Fernrohre im Allgemeinen.

§. 1.

Der wesentliche Zweck in der Einrichtung eines jeden Fernrohres besteht darin, daß durch einen Spiegel oder durch eine Linse ein Bild von einem entfernten Gegenstande entworfen, und dieses Bild durch ein Vergrößerungsglas betrachtet werde. Durch diese Vergrößerung des Bildes scheint der entfernte Gegenstand dem Auge des Beobachters näher gerückt zu seyn, und zwar im Verhältnisse jener Vergrößerung; so, daß man den Gegenstand in derselben Deutlichkeit sieht, als wenn man um so viel näher vor ihm stünde.

§. 2. Die Fernröhre theilen sich ihrer inneren Einrichtung nach daher in zwey Hauptklassen, nämlich in solche, welche das Bild durch Zurückwerfung (Reflektion) von einem Hohlspiegel, oder solche, welche dasselbe durch Brechung (Refraktion) durch eine Glaslinse darstellen. Erstere sind die katoptrischen, letztere die dioptrischen Fernröhre; gemeiniglich nennt man die katoptrischen Röhre Spiegelteleskope, die dioptrischen aber schlechtweg Fernröhre, auch, wenn beide von größern Dimensionen sind, erstere Reflektoren und die letztern Refraktoren. Hier handeln wir gegenwärtig nur von den dioptrischen Fernröhren.

§. 3. Durch folgenden Versuch kann man sich vorläufig von der wesentlichen Einrichtung der letzteren eine richtige Vorstellung machen. Man nehme eine Glaslinse, befestige sie in einem Gestelle, und stelle sie vor eine dem Fenster eines Zimmers gegenüber liegende Wand, während die außer dem Fenster befindlichen Gegenstände durch die Sonne beleuchtet werden. Durch die Linse wird von diesen äußeren Gegenständen nun ein kleines Bild, gleich einem Gemälde, auf der Wand entworfen. Nun nehme man ein gewöhnliches Vergrößerungsglas (eine Loupe), und betrachte dieses Bild (das in die Brennweite desselben zu stehen kommt) damit; so sieht man nun dieses Bild vergrößert, und so, als wenn der wirkliche Gegenstand dem Auge wäre näher gerückt worden. Dieses ist das Princip, welches jedem dioptrischen Fernrohre zu Grunde liegt: das Bild welches sich vorher auf der Wand darstellte, wird im Innern des verfinsterten Rohres durch die Linse als ein Luftbild entworfen, und durch das Vergrößerungsglas betrachtet. Diese Vergrößerungslinse heißt das Augenglas oder Okular, welches auch aus mehreren Linsen bestehen kann; die dem Gegenstande zugekehrte Linse, welche das Bild entwirft, heißt die Objektivlinse oder das Objektiv.

§. 4. Die ursprüngliche Konstruktion eines Fernrohrs ist also sehr einfach. Soll dasselbe jedoch vollkommen seinen Zweck erfüllen, so sind mehrere zusammenwirkende Bedingungen nöthig, welche die Ausführung um so schwieriger machen, je höher der Grad der Vollkommenheit seyn soll. Für ein gutes Fernrohr ist erforderlich, daß der Gegenstand bei einer angemessenen Vergrößerung völlig deutlich, helle, und in möglich großer Ausdehnung (durch ein großes Gesichtsfeld) erscheine. Einige dieser Bedingungen hängen von der vollkommenen Darstellung des Bildes, also vom Objektive, und andere von dem Okulare,

so wie von der Stellung beider gegeneinander ab. Wir müssen daher nach und nach alle Bedingungen für die beste Konstruktion der Objektive, dann der Okulare in ihrer Verbindung mit ersteren zu einem vollkommenen Fernrohr angeben und erläutern. Vor allem aber ist es nöthwendig, zuerst die Natur der Brechung des Lichtes und die darauf gegründeten wesentlichen Eigenschaften der Linsen gründlich kennen zu lernen; weil ohne diese Kenntniß weder eine richtige Einsicht in die Natur des praktischen Verfahrens, noch die Anwendung praktischer Regeln selbst möglich ist.

Wir werden daher zuerst von der Brechung des Lichtes durch die Linsen handeln, welche die wesentlichen Bestandtheile eines Fernrohres ausmachen, erster Abschnitt; — dann die Gründe und Regeln über die soviel möglich vollständige Befreiung der Objektivlinse des Fernrohrs von den Unvollkommenheiten in der Darstellung des Bildes angeben, — zweiter Abschnitt; hiernach die Art und Weise, die Brechungsverhältnisse der Glasarten zu bestimmen, ohne deren genaue Kenntniß die Herstellung vollkommener Objektive nicht möglich ist, abhandeln — dritter Abschnitt. In einem vierten Abschnitte werden wir sonach die Einrichtung des Fernrohrs nach allen Beziehungen seiner einzelnen Bestandtheile und Eigenschaften betrachten, und im besondern die zweckmäßigste Einrichtung der Okulare für alle praktischen Fälle angeben. Ein fünfter Abschnitt endlich wird noch dasjenige enthalten, was bei der Ausführung der optischen Arbeiten zur vollkommenen Herstellung des Fernrohrs und seiner Theile im besondern nothwendig und bemerkenswerth ist.

Erster Abschnitt.

Von der Brechung des Lichtes durch die Linsen.

Von der Brechung der Lichtstrahlen im Allgemeinen.

§. 5. Das Licht hat die Eigenschaft, in der Form eines Strahls immer in einer ununterbrochen geraden Linie fortzugehen, so lang es sich in einem und demselben Mittel, als in der Luft, im Wasser, in Glas von derselben Beschaffenheit fortbewegt.

§. 6. Eben so behält es seine Richtung, wenn es auf diejenige Fläche, welche zwei verschiedene Mittel, als Luft und Glas, von einander scheidet, senkrecht auffällt.

§. 7. Fällt der Strahl aber auf diese Fläche schief auf, so wird er bei dem Eintritte in das zweite Mittel von seiner bisherigen Richtung abgelenkt, oder er wird gebrochen, er erleidet eine Brechung.

§. 8. In der Figur I stellt die Linie AB die Fläche vor, oder die brechende Fläche, welche zwei aneinander liegende Mittel scheidet, oder welche man sich als zwischen diesen vorhanden denken kann. Oberhalb dieser Linie in N sey Luft, unterhalb in M Wasser oder Glas. Ist nun Pp ein Lichtstrahl, welcher, indem er aus der Luft in das Mittel M tritt, senkrecht auf AB auffällt; so geht er ungebrochen durch, oder er wird von seiner vorigen Richtung nicht abgelenkt.

Fällt jedoch der Strahl unter einem schiefen Winkel auf die Linie AB, so behält er nach dem Eintritte in das zweite

Mittel M die vorige Richtung nicht mehr, sondern er wird von derselben abgelenkt, oder gebrochen, und zwar nach einer oder der andern Seite, je nachdem das Mittel, in welches der Strahl eintritt, dichter ist als dasjenige, aus welchem er ankommt, oder weniger dicht. Kommt der Strahl aus dem weniger dichten Mittel (Luft) in das dichtere (z. B. Glas); so wird er so gebrochen, daß er gegen eine auf die brechende Fläche in dem Punkte des Einfalls senkrechte Linie, welche das Einfallsloth genannt wird, hingelenkt wird; tritt der Strahl aber aus dem dichteren Mittel in das dünnere über; so wird er von jenem Einfallslothe abgelenkt.

§. 9. In der Figur I ist Pp das Einfallsloth, oder die auf die Fläche AB in dem Punkte, in welchem der Strahl auffällt, senkrecht gezogene Linie: o ist dieser Punkt des Einfalls. Ro ist der einfallende Lichtstrahl. Ober der Fläche AB ist Luft, unter derselben Wasser oder Glas; der Strahl tritt also aus einem dünneren in ein dichteres Mittel. In der Richtung or würde der Strahl fortgehen, wenn er nicht gebrochen würde: da er nun aber durch die Brechung nach dem Einfallslothe hingelenkt wird; so geht er in der Richtung os in dem dichteren Mittel M fort; so daß nun der Weg des Strahles durch die gebrochene Linie Ros bezeichnet wird.

§. 10. Der Winkel PoR, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe macht, ist der Einfallswinkel.

Der Winkel ros ist der Winkel, um welchen der gebrochene Strahl os von der Richtung des einfallenden Strahles Ro abweicht: er wird der gebrochene Winkel oder der Ablenkungswinkel genannt, weil er die Größe der Ablenkung von der ersten Richtung bezeichnet. Der Winkel sop, derjenige nämlich, welchen der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe macht, heißt der Brechungswinkel.

§. 11. Soll daher die Richtung os bestimmt werden, in welcher der gebrochene Strahl in dem dichteren Mittel fortgeht; so müssen sowohl der Einfallswinkel PoR, als der Brechungswinkel sop bekannt seyn. Die Größe dieser Winkel, wird, wie gewöhnlich, durch ihre Sinusse bestimmt. Man ziehe aus dem Punkte o mit dem Halbmesser oP den Bogen PR, so ist die auf das Einfallsloth senkrechte Linie mR der Sinus des Einfallswinkels. Mit demselben Halbmesser op = oP ziehe man den Bogen rp, so ist si der Sinus des Brechungswinkels.

Da der Winkel PoR dem Winkel por gleich ist; so ist mR = ru, oder es ist für den Halbmesser op die Linie ru der Sinus des Einfallswinkels, und si der Sinus des Brechungswinkels.

§. 12. In der Figur II, in welcher dieselben Linien mit denselben Buchstaben, wie in Fig. I bezeichnet sind, tritt der Strahl Ro aus dem dichteren Mittel M in das dünnere N; er wird also vom Einfallslothe hinweggebrochen. Der gebrochene Strahl ist hier also os, der Brechungswinkel sop; der Sinus des Brechungswinkels = su und der Sinus des Einfallswinkels = ri. Wenn also der Strahl aus Luft in Glas tritt; so wird der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel; er ist nämlich gleich dem Einfallswinkel weniger dem gebrochenen Winkel: tritt aber der Strahl aus Glas in Luft, so wird der Brechungswinkel größer als der Einfallswinkel; er ist nämlich gleich dem Einfallswinkel, mehr dem gebrochenen Winkel.

§. 13. In der Figur III sind beide Brechungsarten vereinigt. AB und ab sey ein Stück Glas mit parallelen Flächen, so ist die Richtung des gebrochenen Strahls ov nach der ersten Brechung durch AB in dem Punkte o in der Linie xy; nach der zweiten Brechung durch ab in dem Punkte v ist die Rich-

tung des gebrochenen Strahles ev in der Linie eg. Letztere ist parallel zu der Richtung des einfallenden Strahles xR, weil bei diesen zwei Brechungen durch die parallelen Ebenen der gebrochene Strahl nach der zweiten Brechung eben soviel von dem Einfallslothe abgelenkt wird, als er nach der ersten Brechung zu seinem Einfallslothe hingelenkt worden war.

§. 14. Für ein und dasselbe brechende Mittel, also für eine und diefelbe Art von Glas hat der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ein bestimmtes und unveränderliches Verhältniß, welches das Brechungsverhältniß genannt wird. Beim Wasser z. B. ist dieses Brechungsverhältniß beiläufig wie 3 : 4; bei mancher Art von Glas ist dieses Verhältniß wie 2 zu 3. Wenn also in Fig. II der Strahl oR aus Glas dieser Art in Luft übertritt, so verhält sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie 2 : 3 oder mR = ri = 2, su = 3. In der Figur I, wo der Strahl Ro aus Luft in Glas übertritt, verhält sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie 3 : 2, oder ru = mR = 3, si = 2.

§. 15. Dieses Verhältniß wird gewöhnlich so genommen, daß man den Sinus des einen Winkels = 1 setzt, wodurch das Verhältniß in dem eben gegebenen Beispiele = 1 : 1,50 wird. Dieses Brechungsverhältniß drückt man dann bloß durch die Zahl 1,50 aus, welche der Brechungsindex genannt wird. Wenn es z. B. heißt, der Brechungsindex eines Stückes Flintglas ist 1,612; so heißt das soviel als: wenn ein Strahl aus Luft in dieses Glas übertritt; so verhält sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels, wie 1,612 : 1; tritt der Strahl aus diesem Glas in Luft über; so verhält sich der Sinus des Ein-

fallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels, wie 1 : 1,612. Nennt man im Allgemeinen den Einfallssinus = m, den Sinus des Brechungswinkels = n; so ist $m : n = 1 : \frac{n}{m}$, oder der Brechungsinder wird erhalten, wenn man den Sinus des Brechungswinkels durch den Sinus des Einfallswinkels dividirt. Für die Brechung aus Glas in Luft ist der Brechungswinkel gleich der Summe des Einfalls- und des gebrochenen Winkels: kennt man also diese beiden Winkel; so gibt der Sinus ihrer Summe dividirt durch den Sinus des Einfallswinkels den Brechungsinder.

Diese Brechungsverhältnisse werden, wie in der Folge näher gezeigt wird, durch die Erfahrung gefunden: sie stehen einigermaßen in Beziehung zu der Dichtigkeit der durchsichtigen Körper; so daß diese das Licht um so stärker brechen, je dichter sie sind.

§. 16. Ist für einen durchsichtigen Körper, z. B. eine bestimmte Art von Glas, der Brechungsinder bekannt; so läßt sich hiernach der Weg des gebrochenen Strahls durch denselben leicht bestimmen.

In der Figur I z. B. fällt der Strahl Ro aus Luft in Glas unter irgend einem Einfallswinkel PoR, welcher als bekannt angenommen wird. Man verlängere nun die Linie des Strahles in der geraden Richtung or; ziehe von derselben auf das Einfallsloth die senkrechte ru; für den Brechungsinder 1.5o ist nun dieser Sinus ru = 1.5o. Man mache nun den Sinns si = 1; und ziehe aus dem Punkte s die Linie so; so ist diese die Richtung des gebrochenen Strahles.

§. 17. Es folgt aus der Unveränderlichkeit des Brechungsverhältnisses, welches also bei demselben Körper für jeden Einfallswinkel gilt, von selbst, wie es die Ansicht der

Figuren deutlich zeigt, daß so wie bei einer brechenden Fläche der Einfallswinkel größer werde, auch der Brechungswinkel sich vergrößere, und umgekehrt mit der Verkleinerung des Winkels, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe macht, auch der Brechungswinkel kleiner werde. Kommt der einfallende Strahl dem Einfallslothe sehr nahe, oder wird der Einfallswinkel sehr klein, so hört die Brechung beinahe ganz auf, und fällt der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe zusammen; so geht er ungebrochen durch das Mittel.

§. 18. Bei einem durchsichtigen Körper mit parallelen Flächen (Fig. III) gibt es also eine Lage des einfallenden Strahles, in welcher er ungebrochen durchgeht, nämlich die senkrechte: durch einen durchsichtigen Körper hingegen, welcher von zwei Flächen begränzt ist, die nicht parallel sind, sondern in ihrer Verlängerung sich durchschneiden, also durch den prismatischen oder keilförmigen Körper kann kein Strahl ungebrochen durchgehen, weil, wenn er auch auf die eine Fläche senkrecht einfällt, er nothwendig die zweite Fläche unter einem schiefen Winkel treffen muß.

In der Figur IV ist abd der Durchschnitt eines gläsernen Prisma, welches so gestellt ist, daß die eine Seite ab gegen den einfallenden Strahl Ro eine senkrechte Lage hat. Der Strahl geht also durch die Fläche ab ungebrochen durch bis zu dem Punkte o der andern Fläche bd, und wird hier bei seinem Austritte aus Glas in Luft von dem Einfallsloth hinweg gelenket. Das Einfallsloth für diesen Punkt ist Pp; die Richtung des einfallenden Strahles ist Rr; der einfallende Winkel RoP = por; es sey der Brechungsinder für dieses Glas = 1.52. Nachdem man also aus dem Punkte o den Bogen ps gezogen hat, nimmt man die Linie ri als = 1 an, sticht nach diesem Maße die Länge = 1.52 ab, und trägt diese auf

die Linie su, so ist ir der Sinus des Einfalls=, su der Sinus des Brechungswinkels, und die Linie aus o zu diesem Punkte s gezogen, ist die Richtung des gebrochenen Strahls.

§. 19. Der Winkel b des Prisma wird der brechende Winkel genannt. Wenn wir das Prisma der Figur IV umkehren, oder uns die Linien dieser Figur so vorstellen, daß der einfallende Strahl die schiefe Fläche bd trifft; so ist der Strahl so der einfallende und der Strahl Ro der gebrochene Strahl; us wird der Sinus des Einfallswinkels und ir der Sinus des Brechungswinkels. Stellt man sich nun beide Prismen zusammengesetzt vor, so daß die beiden senkrechten Flächen ab einander berühren; so entsteht das Prisma in der Figur V, in welchem ganz auf dieselbe Art, wie bei den beiden Prismen vorher einzeln, nunmehr eine doppelte Brechung, nämlich auf beiden Flächen desselben, oder beim Eintritte und beim Austritte des Strahles Statt findet.

§. 20. Bei der Betrachtung der Figur IV ergibt sich von selbst, daß die Größe des Brechungswinkels auch von der Größe des brechenden Winkels des Prisma abhänge. Wenn wir den Winkel des Prisma abd, bis zu abe vergrößern, wie es die punktirten Linien anzeigen, so wird c der Einfallspunkt des Strahles, und sv der Sinus des Brechungswinkels, der größer ist, als im ersten Falle. Denn so wie der Winkel des Prisma sich vergrößert, so vergrößert sich, bei derselben Lage des Strahles auch der Einfallswinkel, und wird der brechende Winkel des Prisma kleiner, so wird auch der Einfallswinkel kleiner; daher vergrößert sich auch für ein und dasselbe Mittel die Brechung oder der Brechungswinkel mit der Vergrößerung des brechenden Winkels, und mit der Verkleinerung dieses Winkels vermindert sie sich.

Von der Brechung der Strahlen durch Linsengläser.

§. 21. Nachdem wir bisher die Art und Weise kennen gelernt haben, wie ein Lichtstrahl durch ein durchsichtiges Mittel gebrochen wird, wenn er auf eine Fläche desselben in einer schiefen Richtung auffällt; so ist es nunmehr leicht, die Art und Weise einzusehen, wie diese Brechung in gläsernen Linsen jeder Art vor sich geht.

In der Optik versteht man bekanntlich unter Linsen durchsichtige Körper, welche entweder von der einen oder von beiden Seiten mit krummen Flächen begränzt sind. Man theilt sie in konvexe und konkave (erhabene oder hohle), je nachdem die Krümmung, welche den Haupttheil der Brechung bewirkt, von dem Mittel der Linse nach auswärts oder nach einwärts gekehrt ist.

§. 22. Die Konvexlinsen sind entweder auf beiden Seiten konvex, konvex-konvex, doppelt konvex, oder auf einer Seite eben, auf der andern erhaben, plankonvex. Zu den Konvexlinsen gehören auch diejenigen, welche auf der einen Seite konkav, auf der andern konvex sind, wenn die konvexe Seite die stärkere Krümmung hat, konkav-konvexe Linsen.

§. 23. Die Konkavlinsen sind entweder auf beiden Seiten konkav, konkav-konkav, doppelt konkav, oder sie sind auf einer Seite eben, auf der andern hohl, plankonkav. Zu den Konkavlinsen gehören auch diejenigen, welche auf der einen Seite konvex, auf der andern konkav sind, wenn die konkave Seite die stärkere Krümmung hat, konvex-konkave Linsen.

Solche Gläser, welche von einer konkaven und konvexen

Fläche von gleicher Krümmung begränzt sind, deren Flächen also parallel laufen, (wie die Uhrgläser) gehören nicht zu den optischen Linsen, da sie die Strahlen auf dieselbe Art brechen, wie Gläser mit zwei parallelen Ebenen (§. 13).

§. 24. Bei allen Linsen sind die krummen Flächen Stücke der Oberfläche einer Kugel. Der Krümmungshalbmesser der Fläche einer Linse, ist also der Halbmesser derjenigen Kugel, von welcher diese Fläche ein Abschnitt ist, oder der Halbmesser desjenigen Bogens, welcher den Durchschnitt der krummen Fläche bildet.

§. 25. Endlich sind doppelt konvexe und doppelt konkave Linsen entweder gleichseitig oder ungleichseitig, je nachdem die beiden Flächen derselben zu demselben Halbmesser gehören, oder nicht; im letzteren Falle ist also die eine Fläche mehr gekrümmt als die andere.

§. 26. Es sey nun in der Figur VI MNG der Durchschnitt einer plankonvexen Linse; C der Mittelpunkt des Bogens MGN, also CG der Krümmungshalbmesser dieser Linse. Die gerade Linie Cf, welche durch die Mitte dieser Linse a hindurchgeht, und in welcher der Mittelpunkt C liegt, welche also auf der Fläche MN senkrecht steht, heißt die Axe dieser Linse.

§. 27. Es falle nun der Strahl Ao auf den Punkt o auf; so geht er durch die Ebene MN ungebrochen durch (§. 17); und seine Brechung erfolgt in dem Punkte o beim Austritte in das dünnere Mittel. Aus der Elementar-Geometrie ist bekannt, daß der Halbmesser, an einen Punkt des ihm zugehörigen Kreisbogens gezogen, auf der Tangente dieses Bogens senkrecht steht. Zieht man also den Halbmesser Co, und errichtet auf dem Endpunkte desselben die senkrechte Linie bd; so ist diese Linie die Tangente des Punktes o, und die Linie Cp oder op

ist das Einfallsloth für den Punkt o. Der Strahl Co wird hier also ganz auf dieselbe Art gebrochen werden, als wenn die Tangente bd das Glas begränzte, also genau derselbe Fall Statt fände, wenn statt der Linse das Prisma abd vorhanden wäre, oder der Fall, wie er in der Figur IV erörtert worden ist. Der Strahl wird also, wie dort, von dem Einfallslothe hinweg gebrochen, und zwar nach der Bestimmung des Brechungsindex mehr oder weniger, nähert sich folglich der Axe Cf, und durchschneidet dieselbe in einem Punkte f. Genau dasselbe findet Statt, wenn auf der andern Seite der Linse in gleicher Entfernung von der Axe der parallele Strahl Bu in die brechende Fläche bei u eintritt; er wird genau eben so weit von dem Einfallslothe hinweggebrochen, und durchschneidet die Axe in dem Punkte f.

Der Punkt f heißt der Brennpunkt dieser Linse, wenn wie in diesem Falle, die einfallenden Strahlen der Axe parallel sind. Die Entfernung dieses Punktes von der Linse oder Gf heißt die Brennweite oder die Fokaldistanz dieser Linse.

§. 28. Bei der doppelt konvexen Linse ist die Brechung des Strahles jederzeit doppelt. In der Figur VII ist die Linie xu, in welcher die Mittelpunkte der Krümmungshalbmesser der beiden Flächen der Linse MN liegen, die Axe dieser Linse: ihr parallel falle der Strahl Ao auf den Punkt o; so würde er ohne Brechung in der Richtung oi fortgehen; durch die Brechung weicht er aber davon ab, und wird dem Einfallslothe p′c′ oder oc′ genähert, welches der Halbmesser des Bogens ist, in welchem der Punkt o liegt. Der Strahl wird also in der Richtung oi gebrochen, und würde er ohne weitere Brechung fortgehen, so würde er die Axe in u schneiden. In i trifft aber der Strahl auf die zweite brechende Fläche, und wird

hier also beim Austritte in das dünnere Mittel wieder gebrochen, und zwar weiter von dem Einfallslothe cp, dessen Theil ci der Krümmungshalbmesser der zweiten Fläche ist, hinweg, also in der Richtung if, in welcher er die Axe in dem Punkte f durchschneidet. Der Strahl hat hier also eben dieselbe Brechung erlitten, als wenn er durch das Prisma skg gegangen wäre, dessen Seiten die Tangenten der beiden Punkte o und i sind. Eben dasselbe gilt von dem in gleicher Entfernung von der Axe einfallenden Strahle Bo′, welcher nach der doppelten Brechung gleichfalls die Axe in f durchschneidet. Die Entfernung dieses Punktes von der Linse fg ist die Brennweite oder Fokaldistanz derselben.

§. 29. Die Figur VIII zeigt die Brechung durch ein doppeltes Konkavglas. c und c′ sind die Mittelpunkte der beiden Krümmungshalbmesser Co und c′i, also die Richtungen der Einfallslothe für die beiden Punkte o und i. Der in o einfallende Strahl wird also von seiner ursprünglichen Richtung Am ab gegen das Einfallsloth zugelenkt, erhält also die Richtung oi oder on; in dem Punkte i wird dieser Strahl von dem Einfallslothe c′i weiter hinweggelenkt; er nimmt also den Weg ir. Dasselbe geschieht mit dem Strahl Bo′ bei dem Einfallspunkte o′; er wird nach o′s gebrochen. Bei der Konkavlinse gehen also die parallel einfallenden Strahlen nach der Brechung auseinander; sie werden zerstreut, nicht aber, wie bei den Konvexlinsen gegen einen Punkt der Axe gesammelt.

Die Konkavlinse hat also keinen wirklichen Brennpunkt; sondern als der Brennpunkt derselben wird der Punkt f angenommen, in welchem die divergirenden Strahlen ir und us verlängert, wie die punktirten Linien es zeigen, die Axe durchschneiden. Dieser (eingebildete) Brennpunkt liegt also auf derselben Seite mit den einfallenden Strahlen, folglich in entge-

gengesetzter Lage mit dem wirklichen Brennpunkte der Konvexlinsen.

Von den Vereinigungsweiten der Linsen.

§. 30. Ein leuchtender oder strahlender Punkt ist derjenige, von welchem die Lichtstrahlen nach allen Richtungen ausgehen. Nur von leuchtenden Punkten, welche unendlich weit entfernt sind, z. B. von den Punkten der Sonnenscheibe, können die Strahlen vollkommen parallel auf ein Glas auffallen: ist der leuchtende Punkt aber nicht in unendlicher oder sehr großer Entfernung; so fallen die Strahlen, welche divergent aus diesem Punkte kommen, auch divergent auf das Glas. In der Figur IX kommen aus dem in der Axe der Linse mn liegenden Punkte c eine Menge Strahlen nach allen Richtungen: ein Theil derselben wird von der Linse aufgefangen, und setzt nach der Brechung durch dieselbe den Weg in veränderter Richtung fort. Da die Linse mn eine kreisförmige Grundfläche darstellt; so bilden alle diese Strahlen einen Strahlenkegel, dessen Grundfläche die Linse und die Spitze der leuchtende Punkt in c ist. Je weiter dieser Punkt von der Linse entfernt ist, desto weniger divergiren diese Strahlen, und bei einer unendlichen Entfernung werden sie parallel, oder aus dem Strahlenkegel wird ein Strahlencilinder. Von allen näheren oder irdischen Gegenständen fallen daher die zu ihren einzelnen Punkten gehörigen Strahlen auf die Linse divergent auf.

§. 31. Auf welche Art diese divergenten Strahlen durch die Linsen gebrochen werden, läßt sich schon aus den vorigen Figuren entnehmen. Denn bei den Verzeichnungen des Weges der Lichtstrahlen durch die Linsen kann man auch die nach der Brechung ausfahrenden Strahlen für einen andern Fall als die einfallenden ansehen, so daß dann diejenigen, die

vorher die einfallenden waren, nun die gebrochenen werden. Nehmen wir also in der Figur VII den Punkt f in der Axe als einen leuchtenden Punkt an; so werden die aus demselben divergent ausfahrenden Strahlen nach der Brechung parallel. Würde der leuchtende Punkt zwischen f und u liegen, so würden die Strahlen Ao und Bo′ konvergiren, und in einem Punkte die Axe schneiden: läge dagegen der leuchtende Punkt zwischen g und f; so würden die Strahlen Ao und Bo′ divergent von der Linse austreten.

§. 32. Eben so, wenn bei der Konkavlinse Fig. VIII die divergenten Strahlen ir und us als einfallende angesehen werden, so werden sie nach der Brechung parallel: würden sie noch mehr divergiren, so werden die Strahlen Ao und Bo′ nach ihrem Austritte aus der Linse konvergiren, und die Axe in einem Punkte schneiden.

§. 33. Die Figur X verdeutlichet für Konvexlinsen diese Fälle. Ist der leuchtende Punkt in a, so gehen die Strahlen ar und as nach der Brechung hinter der Linse in dem Punkte b zusammen. Aus dem leuchtenden Punkte i gehen sie in der Richtung der punktirten Linien, welche über b hinaus die Axe durchschneiden. Gehen die Strahlen aus dem Punkte f, welcher der Brennpunkt der Linse ist, so werden sie nach der Brechung parallel, wie in Fig. VII. Kommen sie endlich aus dem Punkte o, welcher der Linse näher liegt, als die Brennweite, so erhalten sie nach der Brechung die divergente Richtung p und q.

Die Strahlen also, welche von Punkten kommen, die weiter als der Brennpunkt von der Linse entfernt liegen, vereinigen sich wieder in einem Punkte der Axe hinter der Linse. Dieser Punct wird der Vereinigungspunkt der von der Linse kommenden konvergenten Strahlen genannt, um ihn von

dem Brennpunkte zu unterscheiden, welcher der Vereinigungspunkt der parallelen Strahlen ist. Die Entfernung des Vereinigungspunktes von der Linse heißt die Vereinigungsweite.

In der Figur X ist also a der leuchtende Punkt, b der Vereinigungspunkt für die aus demselben kommenden Strahlen; am ist die Entfernung des leuchtenden Punktes, und bn die Vereinigungsweite. Eben so kann auch umgekehrt für einen andern Fall b als der leuchtende Punkt und a als der Vereinigungspunkt angesehen werden; oder der Vereinigungspunkt b kann auch als der leuchtende Punkt für die sich in demselben durchkreuzenden und auf eine zweite Linse auffallenden Strahlen gelten.

§. 34. Es bedarf nach dem Bisherigen keiner weitern Erklärung, auf welche Art man durch die Verzeichnung oder geometrische Konstruktion für jede Art von Linse entweder für parallele oder für konvergente und divergente Strahlen die zugehörigen Vereinigungspunkte, oder wenn letzterer gegeben ist, die Entfernung des leuchtenden Punktes, überhaupt den Weg finde, welchen die Strahlen nach ihrem Durchgange durch die brechenden Flächen nehmen. Es braucht hierzu nur der Brechungsindex der Linse bekannt zu seyn, wornach man so verfährt, wie bereits §. 16 angegeben worden ist. Es ist für den Anfänger sehr nützlich, diese Verzeichnungen in etwas größerem Maßstabe für die verschiedenen Arten von Linsen unter verschieden angenommenen Brechungsverhältnissen für alle Hauptrichtungen der einfallenden Strahlen vorzunehmen, weil er dadurch genau mit der Natur dieser Brechungen bekannt wird, welche die Grundlage der ganzen Optik sind.

Für den praktischen Gebrauch ist jedoch diese rein geometrische Methode nicht anwendbar, weil sie zu umständlich und

zeitraubend ist, wenn sie die erforderliche Genauigkeit haben soll. Man hat dagegen aus diesen geometrischen Konstruktionen auf analytischem Wege algebraische Ausdrücke hergeleitet, welche alle hierher gehörigen Bestimmungen enthalten, und glücklicher Weise so einfach sind, daß sie von jedem, der mit den Elementen der Mathematik bekannt ist, ohne Schwierigkeit angewendet werden können.

§. 35. Die dioptrische Grundformel, in welcher alle Bestimmungen enthalten sind, die nur immer auf die Brechung der Strahlen durch eine Linse Bezug haben, ist folgende:

$$(I) \qquad \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{a}{R} + \frac{a}{r}$$

d bezeichnet die Distanz oder Entfernung des leuchtenden Punktes,

f die Vereinigungsweite für die Entfernung d oder auch die Fokaldistanz, wenn d als unendlich (∞) angesehen wird.

a ist der Brechungsinder weniger 1, also die Decimalstelle des Brechungsinder.

R und r sind die den beiden Krümmungen der Linse zugehörigen Halbmesser.

§. 36. Aus dieser Formel erhält man durch Aufhebung der Brüche den Werth der Vereinigungsweite für eine doppelt konvexe Linse, oder

$$(II) \qquad f = \frac{dRr}{ad\,(R+r) - rR}$$

Beispiel. In der Figur X sey der leuchtende Punkt in i in einer Entfernung von $1'' = d$ von der Linse; der Krümmungshalbmesser der Linsenfläche, welche dem leuchtenden Punkte zugekehrt ist, sey $= 1''10$, der Halbmesser der zweiten Fläche $= 0''9$; der Brechungsinder sey $= 1.52$, also

$a = 0.52$; daher $f = \frac{0.99}{0.05} = 19''80$, oder der Vereinigungspunkt der aus i kommenden Strahlen liegt $19\frac{8}{10}$ Zoll hinter der Linse in der Axe.

Gesetzt die Krümmungshalbmesser beider Flächen der Linse wären gleich, also $R = r$, so wird

$$(III) \qquad f = \frac{dR}{2ad - R}.$$

Ist also in Fig. X $R = r = 1''$, und das übrige wie vorher, so wird $f = 25$ Zoll.

§. 37. Setzt man in der Formel (I) $d = \infty$, oder den leuchtenden Punkt in unendlicher Entfernung, folglich die Strahlen parallel; so ist

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{\infty} = 0, \text{ also } \frac{1}{f} = \frac{a}{R} + \frac{a}{r},$$

woraus sich ergibt

$$(IV) \qquad f = \frac{rR}{a(R+r)} = p$$

f ist also in dieser Formel die Fokaldistanz, oder die Brennweite, welche man sonach erhält, indem man die beiden gegebenen Krümmungshalbmesser mit einander multiplicirt, und dieses Produkt dividirt durch das Produkt aus der Decimalstelle des Brechungsinder in die Summe der beiden Krümmungshalbmesser. Statt f soll die Brennweite in der Folge immer p genannt werden, um dieselbe von den Vereinigungsweiten nicht paralleler Strahlen zu unterscheiden.

Beispiel. Der Brechungsinder des Glases sey $= 1.516$, also $a = 0.516$, der eine Halbmesser $r = 6$ Zoll, $R = 9$; so ist

$$p = \frac{6 \times 9}{0.516(6+9)} = \frac{54}{7.74} = 6.97 \text{ Zoll.}$$

§. 38. Ist die Brennweite einer Linse bekannt, und der Krümmungshalbmesser der einen Fläche, so ist der Krümmungshalbmesser der anderen Fläche

(VII) $$r = \frac{paR}{R - pa}$$

Beispiel. Der Brechungsindex des Glases = 1.53, oder a = 0.53, die Brennweite p der Linse = $4\frac{1}{2}$ Zoll; der Halbmesser der einen Fläche = 3 Zoll; so ist der Halbmesser der zweiten

$$= \frac{4.5 \times 0.53 \times 3}{3 - 2.385} = \frac{7.155}{0.618} = 11.63 \text{ Zoll.}$$

§. 39. Haben beide Flächen der Linse gleiche Halbmesser oder R = r, so wird aus (IV)

(V) $$p = \frac{r}{2a}$$

oder die Brennweite der gleichseitigen Konvexlinse ist gleich dem Halbmesser dividirt durch die doppelte Decimale des Brechungsindex. Also auch

(VI) $$r = 2ap$$

oder der Halbmesser der gleichseitigen Linse ist gleich der Brennweite multiplicirt mit der doppelten Dezimale des Brechungsindex.

§. 40. Wenn in der Formel (I) der eine Halbmesser R oder r unendlich gesetzt wird, folglich $\frac{a}{R} = \frac{a}{\infty} = 0$ wird; so gilt dieselbe für eine plankonvexe Linse, für welche also $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{a}{r}$; woraus sich ergibt für die Vereinigungsweite

(VIII) $$f = \frac{dr}{ad - r}$$

Beispiel. Eine Plankonvexlinse habe einen Halbmesser = 12 Zoll, der Brechungsinder sey = 1.53, oder a = 0.53; die Entfernung des leuchtenden Punktes sey = 450 Zoll, so ist die Vereinigungsweite oder f = 23.84 Zoll.

Für parallele Strahlen oder $d = \infty$, ist für das plankonvexe Glas $\frac{1}{f} = \frac{a}{r}$, also die Brennweite

(IX) $$p = \frac{r}{a}$$

oder die Brennweite des plankonvexen Glases ist gleich dem Halbmesser der konvexen Fläche, dividirt durch die Decimalstelle des Brechungsinder.

Beispiel. Der Halbmesser sey = 12 Zoll, a = 0.53;

so ist $p = \frac{12}{0.53} = 22.64$ Zoll.

Ist die Brennweite der plankonvexen Linse bekannt mit dem Brechungsinder, so ergibt sich der Halbmesser ihrer Krümmung durch

(X) $$r = ap$$

oder man multiplicirt die Brennweite mit der Decimalstelle des Brechungsinder.

§. 41. Für eine Konkav-Konvexe Linse (22) ist von den beiden Krümmungen die hohle negativ, nämlich der erhabenen entgegengesetzt, für die Vereinigungsweite derselben wird also in der Formel (I) R oder der Halbmesser der Konkavfläche negativ, also

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{p} = \frac{a}{r} - \frac{a}{R};$$

und daraus

(XI) $$f = \frac{drR}{ad\,(R - r) - rR}$$

Also für $d = \infty$, oder für parallele Strahlen

(XII) $$p = \frac{rR}{a(R-r)}; \quad r = \frac{paR}{R+pa};$$

$$R = \frac{par}{pa-r}.$$

für konvergente Strahlen:

(XIII) $$f = \frac{drR}{adR - adr + rR}.$$

§. 42. Aus der Formel (I) ergibt sich auch

$$\frac{rR}{a(R+r)} = \frac{fd}{d+f}.$$

Da nun nach (IV) $\frac{rR}{a(R+r)} = p$ ist, so ist also auch

(XIV) $$p = \frac{df}{d+f}$$

d. i. wenn die Entfernung des leuchtenden Punktes und die Vereinigungsweite irgend einer Konvexlinse gegeben ist; so läßt sich der Brennpunkt derselben finden, wenn man das Produkt beider Größen mit ihrer Summe dividirt.

Beispiel. Die Entfernung des leuchtenden Punktes sey 450 Zoll, die Vereinigungsweite = 23.84 Zoll; so ist die Brennweite

$$= \frac{450}{450 + 23.84} = 22.64 \text{ Zoll.}$$

Wenn daher die Fokaldistanz der Konvexlinse und die Entfernung des leuchtenden Punktes bekannt ist; so ist die Vereinigungsweite

(XIV) $$f = \frac{dp}{d-p}$$

oder das Produkt der Entfernung des leuchtenden Punktes in die Brennweite wird dividirt durch die Differenz der Entfernung und der Brennweite.

§. 43. Durch die Anwendung dieser Formel wird es deutlich, auf welche Art in der Figur X für eine und dieselbe Linse die Vereinigungsweiten sich mit der Entfernung des leuchtenden Punktes verändern. Denn setzt man hier $p = 1$, weil die Brennweite dieselbe bleibt; so wird

$$f = \frac{d}{d-1}.$$

Ist also $d = 1$, d. h. ist der leuchtende Punkt in dem Brennpunkte der Linse, so wird $f = \infty$, oder die Strahlen gehen nach der Brechung parallel. Liegt der leuchtende Punkt zwischen dem Brennpunkte und der Linse; so fallen die Strahlen nach der Brechung divergent aus; wie dieses der Fall mit den Strahlen p, q in der Figur X ist. In diesem Falle wird f oder die Vereinigungsweite negativ, weil sie auf dieselbe Seite mit dem leuchtenden Punkte fällt, indem hier der Punkt, in welchem die divergent ausfahrenden Strahlen rückwärts verlängert sich durchschneiden würden, als ihr Vereinigungspunkt angesehen werden muß. Also ist in der Figur für die ausfahrenden Strahlen p, q, $om = d$, und $dm = f$. Es sey z. B. $d = \frac{1}{2}$, oder die Hälfte der Brennweite der Linse; so ist $f = \frac{1}{2} : \frac{1}{2} - 1 = \frac{1}{2} : -\frac{1}{2} = -1$; oder der Vereinigungspunkt fällt in den Brennpunkt der Linse. Die nachstehende Tafel gibt eine Uebersicht dieser Werthe für diese verschiedenen Fälle.

für	$d = \frac{1}{5}$	wird	$f = -\frac{1}{4}$
=	$d = \frac{1}{4}$	=	$f = -\frac{1}{3}$
=	$d = \frac{1}{3}$	=	$f = -\frac{3}{4}$
=	$d = \frac{1}{2}$	=	$f = -1$
=	$d = \frac{3}{4}$	=	$f = -3$
=	$d = 1$	=	$f = \infty$
=	$d = 1\frac{1}{5}$	=	$f = 6$

für $d = 1\frac{1}{4}$ wird $f = 5$
= $d = 1\frac{1}{3}$ = $f = 4$
= $d = 1\frac{1}{2}$ = $f = 3$
= $d = 2$ = $f = 2$
= $d = 3$ = $f = 1\frac{1}{2}$
= $d = 4$ = $f = 1\frac{1}{3}$
= $d = 5$ = $f = 1\frac{1}{4}$
= $d = 6$ = $f = 1\frac{1}{5}$.

Wenn also der leuchtende Punkt um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt ist, so liegt der Vereinigungspunkt eben so weit von derselben; und je weiter der leuchtende Punkt von der Linse absteht, desto näher rückt der Vereinigungspunkt dem Brennpunkte; und umgekehrt, je mehr der leuchtende Punkt, von dem Brennpunkte, an der Linse sich nähert; desto geringer wird die Entfernung des Vereinigungspunktes von der Linse, und zwar negativ, weil letztere mit dem leuchtenden Punkte dann auf derselben Seite der Linse liegt.

Die Formel XIV gibt also ein leichtes Mittel, den Weg der Strahlen zu verzeichnen, welche von einem gegebenen Punkte in der Axe ausgehen, und sich hinter der Linse in einem andern Punkte vereinigen, oder parallel fortgehen, oder sich zerstreuen.

§. 44. In den bisher aufgezählten Fällen sind die auffallenden Strahlen parallel oder divergirend; fallen sie konvergirend auf die Konvexlinse, wie die Strahlen p q in der Figur X; so gelten für diesen Fall dieselben Formeln, wie für die divergirenden Strahlen, wenn die Größe d negativ oder mit dem Zeichen — gesetzt wird; denn diese Entfernung liegt hier ebenfalls auf derselben Seite mit der Vereinigungsweite, also jener bei den divergirenden Strahlen entgegengesetzt. In der Figur X ist dm die (geometrische) Entfernung des leuchten-

den Punktes für die konvergenten Strahlen p q, und om ist die Vereinigungsweite; die Entfernung d ist also negativ; folglich wird für die konvergirenden Strahlen aus der Formel (II)

$$\text{(XV)}\quad f = \frac{-drR}{-adr-adR-rR} = \frac{drR}{adr+adR+rR}$$

aus der Formel (III), oder für eine gleichseitige Linse

$$\text{(XVI)}\quad f = \frac{-dr}{-2ad-r} = \frac{dr}{2ad+r}$$

Aus der Formel (VIII), oder für die plankonvexe Linse wird

$$\text{(XVII)}\quad f = \frac{-dr}{-ad-r} = \frac{dr}{ad+r}$$

Aus der Formel XI oder für die Konkavkonvexlinse wird für die konvergirenden Strahlen

$$\text{(XVIII)}\quad f = \frac{drR}{adR-adr+rR}$$

Aus der Formel (XIV), oder wenn aus der gegebenen Brennweite der Linse und der gegebenen Entfernung d die Vereinigungsweite gefunden werden soll, wird

$$\text{(XIX)}\quad f = \frac{-dp}{-d-p} = \frac{dp}{d+p}$$

Beispiel. In der Figur XI fallen die Strahlen p q konvergirend auf die Linse AB, welches z. B. der Fall ist, wenn sie von einer andern Linse (einem Objektivglas) kommen. Der Punkt, in welchem diese verlängerten Strahlen sich schneiden würden, sey in c; die Entfernung dieses Punktes von der Linse oder cm = d sey = 1.3 Zoll; die Brennweite der Linse = 0.8 Zoll; so ist

$$f = \frac{1.04}{2.1} = 0.495 \text{ Zoll.}$$

§. 45. Konkave Linsen haben keine wirkliche Brennweite, wie die Konverlinsen, d. h. keine solche, welche hinter der Linse liegt, wenn die einfallenden Strahlen auf ihre Vorderfläche fallen; sondern eine negative, welche ihrer Lage nach jener der Konvexlinsen entgegengesetzt ist, indem sie mit den einfallenden Strahlen auf derselben Seite liegt (§. 29). Die vorigen Formeln passen daher auch für diese Linsen, wenn die Halbmesser der hohlen Flächen in denselben negativ, oder mit dem Zeichen — gesetzt werden.

Für eine doppelt konkave Linse mit ungleichen Halbmessern ist also

$$(XX) \qquad f = \frac{dRr}{-adr-adR-Rr}$$

Die Vereinigungsweite ist also bei konkaven Linsen immer negativ; für parallele Strahlen wird also die Brennweite der doppelt Konkavlinse

$$(XXI) \qquad p = \frac{rR}{-a(R+r)}, \quad \text{oder} \quad -p = \frac{rR}{a(R+r)}$$

also wie für die Konvexlinse (IV), nur negativ.

Die Formeln für die Konvexlinsen, in welchen die Größe p vorkommt, gelten also auch für die Konkavlinsen, wenn diese Größe mit dem Zeichen — gesetzt wird.

Für konvergirende Strahlen wird

$$(XXII) \qquad f = \frac{-drR}{adr+adR-rR}.$$

Für eine doppelt konkave Linse mit gleichen Halbmessern wird für die divergirende Strahlen

$$(XXIII) \qquad f = \frac{-dr}{2ad+r}$$

für parallele Strahlen

(XXIV) $p = \frac{r}{2a}$

für konvergirende Strahlen

(XXV) $f = \frac{dr}{-2ad+r}$

§. 46. Für eine plankonkave Linse wird für divergirende Strahlen

(XXVI) $f = \frac{dr}{ad-r}$

für parallele Strahlen

(XXVII) $p = \frac{r}{a}$

für konvergirende Strahlen

(XXVIII) $f = \frac{-dr}{ad-r}$

§. 47. Für die Konvex-Konkave Linse ist für divergirende Strahlen:

(XXIX) $-f = \frac{dRr}{adr-adR-rR}$,

(r ist der Halbmesser der konkaven Fläche)

für die parallelen Strahlen

(XXX) $-p = \frac{Rr}{ar-aR}$; $r = \frac{paR}{R+pa}$;

$$R = \frac{par}{ap-r}$$

Beispiele. 1. Der Halbmesser R der konvexen Seite sey = 16; jener der konkaven r = 10″, der Brechungsinder 1.600; so ist p oder die Fokallänge $= \frac{10 \times 16}{(16-16) \times 0.6}$

$= \frac{160}{3.6} = 44''.44.$ (negativ.)

2. Es sey der Halbmesser der konvexen Fläche = 12″;

der Brechungsindex 1.60; die (negative) Fokallänge = 5″; so ist der Halbmesser der konkaven Fläche oder

$$r = \frac{5 \times 0.6 \times 12}{12 + 3} = \frac{36}{15} = 2''.4.$$

3. Der Halbmesser der Konkavfläche, der Brechungsindex und die Fokallänge sind dieselben, wie vorher, es soll der Halbmesser der konvexen Fläche R gefunden werden: so ist

$$R = \frac{5 \times 0.6 \times 2.4}{5 \times 06 - 2.4} = \frac{7.2}{0.6} = 12''$$

für die konvergirenden Strahlen

$$\text{(XXXI)} \qquad f = \frac{-dRr}{-adr + adR - rR}$$

§. 48. Um endlich für die gegebene Brennweite irgend einer Konkavlinse und der Entfernung d die Vereinigungsweite f zu finden, wird aus der Formel XIV

$$\text{(XXXII)} \qquad f = \frac{-dp}{d + p}.$$

Wenn also die Strahlen, wie in Figur VIII parallel auf die Hohllinse auffallen, also $d = \infty$ wird; so ist

$f = \frac{-p.\infty}{\infty} = -p$; oder in diesem Falle ist die Vereinigungsweite oder die Entfernung des Punktes von der Linse, in welchem die ausgehenden divergenten Strahlen rückwärts verlängert sich in der Axe schneiden, der Brennweite gleich. Sind in der Figur die Strahlen A und B parallel; so ist fg die negative Brennweite und eine gerade Linie aus dem Brennpunkte f durch den Einfallspunkt o gezogen, bestimmt den Weg des gebrochenen Strahles ir.

§. 49. Für konvergent einfallende Strahlen wird d negativ, also

$$\text{(XXXIII)} \qquad f = \frac{dp}{-d + p}.$$

Wenn also die konvergenten Strahlen so einfallen sollen, daß die ausgehenden parallel werden, folglich $f = \infty$ wird, so muß $-d = p$ seyn (weil $-\frac{dp}{o} = \infty$): oder es wird, wie vorher, in diesem Falle die Entfernung des Durchschnittspunktes der konvergenten Strahlen von der Linse gleich ihrer Brennweite.

Wird $-d$ kleiner als p, oder der Durchschnittspunkt der einfallenden konvergenten Strahlen hinter der Hohllinse liegt der Linse näher als der Brennpunkt; so wird $-d+p$ eine positive Größe; folglich f auch positiv, d. h. in diesem Falle bilden die einfallenden Strahlen hinter der Linse einen wirklichen Vereinigungspunkt, wie bei den Konvexlinsen. Dieser Fall ist in der Figur XVI verzeichnet. Z. B. die Brennweite der Hohllinse sey $= 2$ Zoll; $d = 1$ Zoll; so wird $f = \frac{2}{1} = 2$ Zoll; oder wenn der Durchschnittspunkt der einfallenden Strahlen die Axe in der halben Brennweite trifft; so fällt der Vereinigungspunkt in den Brennpunkt der Linse.

Es sey $p = 2$ Zoll, $d = \frac{1}{2}$ Zoll; so ist $f = \frac{1}{1.5} = \frac{2}{3}$ Zoll.

§. 49. Es ist öfters nothwendig, die Form einer Linse in eine andere bei gleicher Fokallänge und demselben Brechungsinder zu verwandeln. Hierzu dienen nachstehende Formeln.

1) Die ungleich konvexe Linse soll in eine gleichseitige von derselben Fokaldistanz bei gleichem Brechungsvermögen verwandelt werden: so ist $\frac{r'}{2a} = \frac{Rr}{a(R+r)}$, also

$r' = \frac{2Rr}{R+r}$; wo r' den Halbmesser der gleichseitigen Linse bezeichnet. Z. B. Von einer Konvexlinse sey der Halb-

messer der einen Fläche = 3 Zoll, jener der zweiten = 2 Zoll; so ist der Halbmesser der Flächen einer gleichseitig konvexen Linse von demselben Glase und gleicher Fokaldistanz

$$= \frac{3 \times 2 \times 2}{3 + 2} = \frac{12}{5} = 2{,}4 \text{ Zoll.}$$

2) Die doppelt konvexe Linse ist in eine plankonvexe zu verwandeln. Hier ist $\frac{r'}{a} = \frac{Rr}{a(R + r)}$, also $r' = \frac{Rr}{R + r}$

Z. B. Bei denselben Krümmungen der doppelt konvexen Linse wie vorher ist $r' = \frac{3 \times 2}{3 + 2} = \frac{6}{5} = 1.2$ Zoll für die Krümmung der einen Fläche der plankonvexen Linse.

3) Die ungleich konkave Linse ist in eine gleichseitig konkave zu verwandeln. Hier ist $\frac{-r'}{2a} = \frac{rR}{-a(R + r)}$, also

$r' = \frac{2rR}{R + r}$ (wie in 1).

4) Die doppelt konkave Linse ist in eine plankonkave zu verwandeln. Hier ist $\frac{-r}{a} = \frac{rR}{-a(R + r)}$, also

$r' = \frac{rR}{R + r}$ (wie in 2.)

5) Die konvexkonkave Linse ist in eine plankonkave zu verwandeln. Hier ist $\frac{-r'}{a} = \frac{Rr}{-ar + aR'}$, wo r der Halbmesser der konkaven Fläche; also ist $r' = \frac{Rr}{r - R}$.

§. 50. Bei allen diesen Formeln, durch welche die Vereinigungsweiten der verschieden einfallenden Strahlen für die verschiedenen Linsen bestimmt werden, ist auf die Dicke der Linse selbst keine Rücksicht genommen, weil diese für die gewöhnlichen Fälle nicht in Betrachtung kommt, worüber das

Nachfolgende die gehörige Aufklärung gibt. Wenn auch dieser Gegenstand keine besondere praktische Wichtigkeit hat; so ist es doch nützlich, darüber unterrichtet zu seyn, da in der Folge noch davon die Rede seyn wird.

In der Figur VII ist gf die Brennweite für die Linse MN, wenn deren Dicke Sg als unbedeutend gegen die Linie Su angesehen wird. Stellt man sich aber die zweite Fläche MgN dieser Linse weiter gegen u hinausgerückt vor, oder die Dicke dieser Linse um so viel vermehrt, so wird die Brennweite derselben von der zweiten Fläche an gemessen nun kleiner als gf, wie sich leicht durch eine Verzeichnung anschaulich machen läßt.

§. 51. Es sey nun in der Figur VII die Entfernung des Punktes u, in welchem der Strahl oi nach der ersten Brechung, oder wenn derselbe ohne weitere Brechung, folglich in demselben Glase (wenn dieses bis u reicht,) seinen Weg fortsetzen könnte, die Axe durchschneidet, oder die Linie $Su = k$; so ist, wenn n den Brechungsinder bezeichnet, und R den Halbmesser der Vorderfläche

$$\text{(XXXIV)} \qquad k = \frac{dRn}{(n-1)d - R}$$

welches nach Formel VIII die Vereinigungsweite für die plankonvexe Linse ist, noch mit n multiplicirt. Für parallele Strahlen ist daher $k = \frac{Rn}{n-1}$.

Tritt nun der Strahl oi durch die zweite Fläche der Linse in die Luft, so ist seine Vereinigungsweite in der Axe oder

$$\text{(XXXV)} \qquad f = \frac{kr}{(n-1)k + nr}.$$

Dieser Werth von f ist derselbe wie in der Formel II, wenn hier für k der vorige Werth substituirt wird.

Für eine plankonvexe Linse ist also auch

(XXXVI) $$f = \frac{k}{n}.$$

Für parallele Strahlen ist

(XXXVII) $$k = \frac{n}{n - 1} R.$$

§. 52. Wenn man nun die Vereinigungsweite, welche rücksichtlich der Dicke des Glases die erforderliche Verkürzung erhalten hat, f′ nennt, so ist

(XXXVIII) $$f' = f - \frac{ff}{kk}. nv$$

wo v die halbe Dicke des Glases bezeichnet. Die durch die Dicke des Glases korrigirte Vereinigungsweite oder Brennweite der Linsen wird also erhalten, wenn man von der aus den vorigen Formeln gefundenen Vereinigungsweite oder Brennweite die Zahl abzieht, welche man erhält, indem man das Quadrat dieser Vereinigungsweite durch das Quadrat von k dividirt, und den Quotienten mit dem Produkte aus dem Brechungsinder und der halben Glasdicke multiplicirt*).

§. 53. Nachstehende Beispiele machen die Eigenschaften dieser Korrektion anschaulich. In dem Beispiele zu Formel II ist die Vereinigungsweite = 19.80 Zoll, hier wird nun

$k = \frac{1''.672}{-0.58} = -2.8827$ Zoll; k ist hier negativ, weil

*) Die halbe Dicke der Linse ist die mittlere Proportionale zwischen der halben Breite der Linse und der doppelten Fokaldistanz derselben; oder wenn die halbe Breite = y, so ist $y^2 = 2vp$, oder $v = \frac{y^2}{2p}$. Es sey z. B. die Breite der Linse = 2 Zoll; ihre Fokaldistanz = 24 Zoll; so ist $v = \frac{1}{48}$ Zoll. Die Breite der Linse gilt hier für den Fall, daß die beiden die Linse begränzende Flächen einander in einem scharfen Rande schneiden.

die Strahlen nach der Brechung durch die erste Fläche divergiren, die Vereinigungsweite also auf derselben Seite mit dem leuchtenden Punkte liegt.

Dieser Werth in der Formel XXXV substituirt, gibt $f = 19.80$ Zoll; wie in §. 36.

Die halbe Dicke des Glases oder v sey $= \frac{5}{100}$ Zoll,

so ist $\frac{ff}{kk}$ nv $= 3.585$ Zoll.

Die Wirkung der Dicke des Glases ist also hier sehr bedeutend, und könnte daher in einem solchen Falle, wo die Entfernung des leuchtenden Punktes von dem Glase gegen die Vereinigungsweite der Strahlen so gering ist, k folglich auch klein wird, nicht vernachlässiget werden.

Wird dagegen der Werth von k groß; so wird die Korrektion wegen der Dicke des Glases unbedeutend. In dem Beispiele zur Formel (VIII) war für die plankonvexe Linse $d = 450$ Zoll, $f = 23.84$ Zoll, und $R = 12$ Zoll, für $n = 1.53$. Hier ist also $k = 23.84 \times 1.53 = 36.4752$ Zoll.

Die Dicke der plankonvexen Linse sey $= \frac{2}{100}$ Zoll

$= v$; folglich ist $\frac{ff}{kk}$. nv $= \frac{23.84^2}{36.475^2} \times 1.53 \times 0.02$;

$= 0.0130$ Zoll. Die Korrektion ist hier also gegen die Vereinigungsweite f eine so geringe Größe, daß sie nicht in Betrachtung kommt.

In dem Beispiele zur Formel (IV) für parallel einfallende Strahlen ist $n = 1.516$, $r = 6''$, $R = 9$ und sonach die Brennweite $= 6.97$ Zoll. Die halbe Dicke der Linse betrage 0.04 Zoll $= v$; folglich ist $k = \frac{1.516}{0.516}.6'' = 17''.628$,

also $\frac{ff}{kk}$ nv = 0.00948 Zoll. Um diese geringe Größe müßte die durch die Formel IV gefundene Brennweite verringert werden; wenn sie der wahren durch die Erfahrung gegebenen gleich seyn soll.

Eben so, wenn eine genau durch die Erfahrung gefundene Brennweite auf diejenige reducirt werden soll, für welche die Dicke der Linse als verschwindend angenommen ist, welcher Fall bei allen vorigen Formeln bis (XXXIII) Statt findet, so muß der durch die Erfahrung gefundenen Brennweite der Werth von $\frac{ff}{kk}$. nv hinzu addirt werden.

Die Größe von k hängt von der Größe des Halbmessers ab, welcher zu der ersten Fläche gehört, durch welche der Strahl in die Linse tritt. Je größer also dieser Halbmesser ist, desto geringer wird auch $\frac{f^2}{k^2}$ oder die Veränderung der Brennweite durch die Glasdicke. Daher ist bei einer ungleichseitigen Linse der Einfluß der Glasdicke geringer, wenn die flachere Krümmung gegen den leuchtenden Punkt gekehrt ist, als umgekehrt. Bei der Plankonvex- oder Plankonkavlinse fällt daher der Einfluß der Glasdicke ganz weg, wenn die Planseite den parallel einfallenden Strahlen zugekehrt ist.

Die beiden Formeln XXXIV und XXXV, welche den Weg des Strahls nach dem Eintritte in das Glas und nach dem Austritte aus demselben abgesondert darstellen, enthalten die Formel für die Bestimmung der Vereinigungsweite einer Glaskugel, wo also die halbe Dicke ihrem Halbmesser = r gleich ist. Es ist nähmlich für diesen Fall

$$(XXXIX)\ f = \frac{(2 - n)\, dr + 2rr}{2\,(n - 1)\, d + (n - 2)\, r},$$

und für parallele Strahlen

$$(XXXL)\quad p = \frac{2 - n}{2\,(n - 1)}\,r.$$

Von der Darstellung des Bildes durch die Linse.

§. 53. Die Strahlen, welche in der Figur X von einem Punkte a ausfahren, und sich nach der Brechung durch die Linse in dem Punkte b vereinigen, oder, wenn sie von einem sehr entlegenen Punkte ausgehen, parallel oder beinahe parallel auf die Linse fallen, wie in der Figur VII, und sich in dem Brennpunkte f vereinigen, bilden in diesen Punkten das Bild des Punktes, von welchem die Strahlen gekommen sind.

Von einem jeden Punkte des Gegenstandes gehen solche Strahlen aus, welche eben diese Punkte, folglich zusammen das Bild des Gegenstandes selbst, hinter der Linse darstellen. Bei den Verzeichnungen über den Fortgang der Strahlen durch die Linse wird der Gegenstand als eine Linie betrachtet, deren äußerster und mittelster Punkt Strahlen aussenden. Da alle Strahlen, welche von den übrigen Punkten dieser Linie ausgehen, zwischen jene Strahlen fallen, und jeden andern Theil des Gegenstandes eben solche Linien vorstellen; so bezeichnen jene Strahlen sowohl die Richtung als die Ausbreitung derselben in der Brechung durch die Linse. Ueberhaupt muß man bei allen diesen Verzeichnungen und Benennungen von parallelen, divergenten oder konvergenten Strahlen nicht vergessen, daß dieselben sich immer nur auf Punkte des Bildes beziehen, welche den entsprechenden Punkten des Gegenstandes zugehören.

§. 54. Die Figuren XII, XIII und XIV machen dieses deutlich.

In der Figur XI kommt der Strahlenkegel rsa aus dem Mittelpunkte der auf die Axe der Linse senkrechten Linie ec, welche den Durchmesser des kreisförmigen Gegenstandes vorstellt, und diese Strahlen vereinigen sich in dem Punkte b derselben Axe. Durch diese aus einem Punkte der Axe kommenden Strahlen wird also die Vereinigungsweite bestimmt, wovon bisher gehandelt worden ist.

Aber auch aus dem Punkte e seitwärts von der Axe gehen Strahlen aus, welche sich ebenfalls hinter der Linse, jedoch außerhalb der Axe in einem Punkte vereinigen. Um diesen Vereinigungspunkt für die seitwärts von der Axe ausgehenden Strahlen zu finden, bestimme man zuerst den Vereinigungspunkt der Axenstrahlen b, errichte dann auf diesem Punkte eine senkrechte Linie, und ziehe aus e durch den Mittelpunkt der Linse M, eine gerade Linie: der Punkt z, wo diese Linie die senkrechte bz durchschneidet, ist der Vereinigungspunkt für die aus e kommenden Strahlen.

Die Figur XII stellt die Lage dieser aus den äußeren Punkten des Gegenstandes ec kommenden Seitenstrahlen vor. Die Strahlen, welche von e ausgehen, vereinigen sich in dem Punkte z, und jene welche von c ausgehen, in dem Punkte y, oder der Punkt e ist in z, und der Punkt c in y abgebildet.

§. 55. Die Linie yz bezeichnet also die Größe des durch die Linse dargestellten Bildes des Gegenstandes ec. Da die Strahlen ez und cy sich in dem Mittelpunkte der Linse M durchkreuzen, und die Linien yz und ec auf die Axe ab senkrecht sind; so verhält sich also auch ec : yz = am : bn; wenn die Dicke der Linse als unbedeutend angesehen wird. Nun ist bn die Vereinigungsweite = f, und am die Entfernung des leuchtenden Punktes auf der Axe = d; folglich ist

$yz = \frac{f}{d}$ ec; oder: der Durchmesser des Gegenstandes und des Bildes verhalten sich wie ihre Entfernungen von dem Glase; die Größe des Bildes ist also $\frac{f}{d}$ mal die Größe des Gegenstandes.

Z. B. In dem Beispiele zur Formel VIII ist $d = 45o$, $f = 23.84$, folglich ist die Größe des Bildes, welches in diesem Falle durch die Linse abgebildet wird, $= \frac{23.84}{45o}$ oder etwa $\frac{1}{19}$ der Größe des Gegenstandes; so daß z. B. das Bild eines Kerzenlichtes, dessen beleuchtete Theile in der Länge von 2 Zoll angenommen werden, in der Größe von $\frac{2}{19}$ oder beinahe von $\frac{1}{9}$ Zoll erscheint.

§. 56. Die Figur XIV enthält die Verzeichnung der von dem Gegenstande sowohl aus der Axe als von der Seite kommenden Strahlen, wie sie in ihren Vereinigungsweiten das Bild entwerfen. Die Strahlen eMz und cMy gehen durch die Mitte der Linse M so gut wie ungebrochen hindurch, weil die Tangenten der Punkte, auf welche sie fallen, als parallel anzusehen sind, und sie bleiben immer in der Mitte der ihnen zugehörigen Strahlenkegel. Sie werden Hauptstrahlen genannt: für den Strahlenkegel ars liegt der Hauptstrahl in der Axe ab. In der Figur XI — XIII ist ez ein solcher Hauptstrahl, dessen Lage für den Punkt des Bildes eben dieselbe Bestimmung gibt, als jene des ganzen Strahlenkegels.

In der Figur XIV ist der Gang der parallelen Strahlen vorgestellt. Liegt nämlich der Gegenstand ec unendlich weit, wo sonach der Durchmesser der Linse gegen diese Entfernung verschwindet, so können die aus einem Punkte ausgehenden

Strahlen als parallel angesehen werden. Die Lage der Hauptstrahlen ist übrigens dieselbe wie in Fig. XII, ppp sind die Parallelstrahlen, die dem Punkte des Objekts c, qqq jene, die dem Punkte e, und ttt jene, welche dem Punkte a zugehören.

§. 57. Aus dem Wege den die von den äußeren Punkten des Gegenstandes kommenden Strahlen nach der Brechung nehmen, erhellet zugleich, daß das Bild in verkehrter Lage zu stehen kommt; indem die Strahlen, die aus dem Punkte e kommen, nach y, und jene aus c nach z gebrochen werden.

§. 58. Der Durchmesser des Bildes yz ist übrigens nur dann eine gerade Linie, wenn der Winkel aMe sehr klein ist, welcher Fall überhaupt bei Teleskopen und Mikroskopen wenigstens nahe vorhanden ist: bei ersteren weil der Gegenstand weit entfernt, bei letzteren, weil er zwar nahe, aber sehr klein ist. In diesem Falle macht die Linie yz nur einen sehr kleinen Theil eines Bogens aus, kann also als eine gerade Linie angesehen werden. Wird der genannte Winkel aber größer, so wird dieses Bild gekrümmt, wie schon aus der Betrachtung der Figur erhellet: denn je weiter der Punkt e des Gegenstandes von der Axe entfernt liegt, desto mehr muß sich der Punkt z des Bildes der Linse nähern, das Bild yz folglich gegen den Rand gekrümmt werden.

§. 59. Ist die Entfernung, aus welcher die Strahlen von dem leuchtenden Punkte kommen, unendlich groß, sind die Strahlen sonach parallel; so muß, um die Größe des Bildes zu bestimmen, statt der wirklichen Größe des Gegenstandes ec der Winkel eMc genommen werden, unter welchem dieser Gegenstand von M aus gesehen wird, wenn die Axe durch seinen Mittelpunkt geht. Der Durchmesser des Gegenstandes yz, welcher wegen seiner Kleinheit als der Bogen des Winkels yMz = eMc angesehen werden kann, ist also der Entfer-

nung Mb = f proportional, und gilt als das Maß des Winkels yMz, welches durch den Winkel eMc in Minuten des Bogens gegeben ist. Es muß also auch der Halbmesser oder die Entfernung f in Minuten ausgedrückt werden. Da nun der Bogen, welcher dem Halbmesser gleich ist, 3437 Min. 48 Sek., oder in runder Zahl 3438 Minuten enthält: so verhält sich also f : yz = 3438 : n, wenn n die Anzahl der Minuten ausdrückt, welche das Maß des Winkels eMc ausmachen. Es ist also $yz = \frac{n \cdot f}{3438}$.

Beispiel. Die Brennweite der Linse = f sey 15.″5 = 186‴, wie groß ist das Bild der Sonne, welches im Focus dargestellt wird? — Der scheinbare Durchmesser der Sonne = n ist nahe 31 Min.; also $yz = \frac{31 \times 186}{3438} = 1‴677$. Der Durchmesser des Bildes nimmt also zu mit der Vergrößerung der Fokaldistanz.

Von dem Sehen durch die Linsen.

§. 60. Wenn in ein gesundes Auge von den Punkten des Objektes Parallelstrahlen einfallen; so wirkt dasselbe wie ein Konvexglas, indem es diese Strahlen in einem Brennpunkte mittelst der Krümmung der durchsichtigen Hornhaut, und der sogenannten Krystallinse, und der zwischen denselben eingeschlossenen brechenden Feuchtigkeiten auf dem dunkeln Grunde desselben, der Netzhaut, zu einem Bilde vereinigt. Die Strahlen treten durch die Pupille, als der durch die Regenbogenhaut, welche die Stelle einer Blendung vertritt, um das Uebermaß des Lichtes abzuhalten, gebildeten Oeffnung der vordern Linse. Das auf der Netzhaut entworfene Bild des Gegenstandes verursacht die Empfindung des Sehens und der damit zusammenhängenden Erscheinungen.

§. 61. Das Auge mißt die scheinbare Größe eines Objektes durch die Größe des Winkels, welchen die äußersten Strahlen desselben am Auge machen. Diese scheinbare Größe hängt daher von der Entfernung ab, weil dieser Sehewinkel sich vergrößert oder vermindert, wenn der Gegenstand vom Auge mehr oder weniger entfernt wird. Verschieden entfernte Gegenstände, welche dem Auge unter demselben Winkel erscheinen, erscheinen also gleich groß; und Gegenstände von geringerer Größe im Vergleich anderer von gleicher Entfernung erscheinen weiter entfernt. Hierauf beruhen die Erscheinungen des Sehens durch eine einfache Linse.

§. 62. Das Auge eines jeden Individuums sieht in einer gewissen Entfernung kleine Gegenstände am deutlichsten. Diese Entfernung wird für gesunde Augen für 8 Zoll angenommen. Nähert sich das Auge dem Gegenstande, so vergrößert er sich, weil der Sehewinkel größer wird. Das Sehen ist jedoch undeutlich, weil viel Seitenlicht mit in das Auge fällt. Dieses wird abgehalten, wenn man den Gegenstand, z. B. Druckschrift, durch ein in ein Kartenpapier gestochenes Löchlein betrachtet, an welches das Auge ganz nahe gehalten wird. Das Objekt erscheint hier um so mehr vergrößert, als das Auge demselben näher gerückt ist. Das vergrößerte Objekt ist jedoch dunkel oder schwach beleuchtet, weil durch die kleine Oeffnung von dem von jedem Punkte ausgehenden Strahlenkegel nur einzelne Strahlen durchgelassen werden.

§. 63. Auf dieselbe Art wirkt eine Konverlinse als Vergrößerungsglas. Wird diese, Fig. XV, dem Gegenstande so weit genähert, daß dieser in den Brennpunkt F derselben fällt, in welchem Falle der Gegenstand am deutlichsten wird, weil dann die Strahlen parallel in das Auge gelangen; so erscheint das Bild AF dem Auge unter demselben Winkel durch das

Glas, als wenn es aus dem Mittelpunkte der Linse ohne Glas gesehen würde, weil der Winkel bei C jenem bei O gleich ist. Der Gegenstand AF erscheint also soviel mal vergrößert, als die Entfernung der Linse von dem Gegenstande in der deutlichen Seheweite von 8 Zoll enthalten ist. Der Gegenstand erscheint gut erleuchtet, weil durch das Glas von dem Objekte weit mehr Strahlen vereinigt in die Pupille gebracht werden, als durch das Löchlein in dem Kartenblatte möglich war. Für das Auge ist es hier übrigens rücksichtlich der Vergrößerung dasselbe, ob es nahe am Glase bei Q oder bei O oder in einem Punkte dazwischen sich befinde. Linsen von kurzer Brennweite werden Mikroskope genannt. Auf diese Art vergrößert z. B. eine Linse, die $\frac{1}{10}$ eines Zolles Brennweite hat, $= 8 : \frac{1}{10} = 80$ mal *).

Die Hohllinse verkleinert oder entfernt den Gegenstand scheinbar, aus dem gerade entgegengesetzten Grunde, indem durch dieselbe die Strahlen von der Axe weggebrochen werden, folglich mit derselben einen kleineren Winkel machen.

§. 64. Der Gegenstand erscheint dem gesunden Auge vermöge seines Baues nur dann völlig deutlich, wenn die von den einzelnen Punkten ausgehenden Strahlen parallel in dasselbe gelangen. Dieses ist nicht der Fall bei den Weit- und

---

*) Hält man die Konvexlinse so, daß der Brennpunkt der Strahlen von entfernten Gegenständen ins Auge fällt; so erhält dieses kein Bild, sondern das Glas zeigt ein verworrenes weißes Licht. Auf diese Art läßt sich die beiläufige Fokaldistanz einer Linse finden: Diese ist nämlich der Entfernung des Glases vom Auge gleich, wenn durch das Glas die Gegenstände verschwinden. Die Entfernung des Glases von dem Objekte (einer Druckschrift), wenn diese am deutlichsten gesehen wird, gibt wie oben erwähnt, ebenfalls diese Fokaldistanz.

Kurzsichtigen. Der Fehler des Auges, welcher die Weitsichtigkeit begründet, liegt in der zu geringen Konvexität der Hornhaut, wodurch die einfallenden Parallelstrahlen sich nicht auf der Netzhaut vereinigen, sondern ihren Vereinigungspunkt hinter derselben haben, wodurch Undeutlichkeit entsteht. Diesem Fehler hilft das Sehen durch ein Konvexglas ab, weil dieses die Strahlen zur schnelleren Konvergenz bringt. Die Fokaldistanz, welche die Linse haben muß, um für ein weitsichtiges Auge den Fehler zu korrigiren, läßt sich auf folgende Weise finden. BG (Fig. XVI) ist die Axe der Linse AD. Die nächste Entfernung, bei welcher das Auge in A ohne Glas deutlich sehen kann, sey AB, und C sey der Punkt, in welchem es in der näheren Entfernung AC sehen oder lesen will. Kann nun das Auge den Punkt B ohne Glas deutlich sehen, von welchem der Strahl in der Richtung DE in das Auge gelangt, so wird es mit derselben Deutlichkeit auch durch das Glas den Punkt C sehen müssen, wenn der aus diesem Punkte kommende Strahl durch dasselbe in der Richtung DE gebrochen wird. Man kann diesen Fall also so ansehen, als wenn der Strahl ED auf die Linse fiele, und nach C gebrochen würde: AC ist also die Vereinigungsweite und AB die Entfernung des leuchtenden Punktes. Es gilt hier also die Formel XVIII für konvergente Strahlen $f = \frac{dp}{d + p}$, oder $p = \frac{df}{d - f}$. Hier ist nun $d = AB$, und $f = AC$; folglich die Fokaldistanz p gegeben. Z. B. Jemand liest deutlich einen gewöhnlichen Druck auf eine Entfernung von 3 Fuß $= d$, will aber durch eine Brille mit derselben Deutlichkeit in der Entfernung von 12 Zollen $= f$ lesen: so ist $p = \frac{3}{2} = 1\frac{1}{2}$ Fuß, oder die Fokaldistanz dieser Brille $=$ 18 Zoll.

§. 65. Für den Kurzsichtigen kann eben so der Halb-

messer des Glases bestimmt werden, welches ihm das deutliche Sehen entfernter Gegenstände verschafft. Er bestimme nämlich die größte Entfernung AO (Fig. XVII), in welcher er ein Objekt deutlich mit dem bloßen Auge sieht; so wird diese Entfernung AO der Halbmesser des Hohlglases AD, welches den Fehler seines Auges korrigirt. Denn die der Axe parallelen Strahlen BD (die von entfernten Gegenständen kommen) werden durch die Linse von der Axe weg in der Richtung DE gebrochen, als wenn sie an dem Mittelpunkte der Krümmung O her kämen (S. Formel XXIV, wonach hier $f = -p$); folglich wird das Auge hinter der Linse mittelst der parallelen Strahlen eben so deutlich sehen, als es ohne Linse den Punkt O von A aus sieht. Die Linse AD ist hier gleichseitig konkav angenommen.

Zweiter Abschnitt.

Von der Herstellung vollkommener Objective für das Fernrohr.

Von der Unvollkommenheit des Bildes wegen der Kugelgestalt der Linse.

§. 66. Wir haben bisher in allen Fällen, in welchen durch die Linsen die einfallenden Strahlen in einen Vereinigungspunkt gesammelt werden, nur zwei Strahlen in gleichen Entfernungen von der Axe auf die Linse fallend angenommen, in welchem Falle ihre Vereinigung jederzeit in einem Punkte erfolgt, weil auf beiden Seiten der Linse die Brechung genau auf dieselbe Weise geschieht. Allein dieses ist nicht mehr der Fall bei den Strahlen, welche näher gegen die Axe zu, oder noch weiter von ihr entfernt auf die Linse fallen; denn diese Strahlen vereinigen sich nicht in demselben Punkte, wie die vorigen; sondern je näher die Strahlen an der Axe einfallen, desto weiter liegt ihr Vereinigungspunkt von der Linse, und je näher sie gegen den Rand zu einfallen, desto näher liegt ihr Vereinigungspunkt an der Linse.

§. 67. Denn in der Figur VII wurde schon vorgestellt, daß der Strahl, der auf einen Punkt der Linse einfällt, nicht anders gebrochen werde, als wenn er durch ein Prisma ginge, dessen Seiten die Tangenten jener Punkte sind, in welchen der Strahl in der Linse ein- und austritt. Je näher nun diese Punkte der Axe der Linse liegen, desto geringer wird die Nei-

gung ihrer Tangenten gegen einander, oder desto kleiner wird der brechende Winkel des diesen Brechungspunkten zugehörigen Prisma. Je weiter hingegen diese Punkte von der Axe entfernt liegen, oder gegen den Rand des Glases zu gehen, desto grö-ßer wird der Winkel, welchen ihre Tangenten miteinander bilden, oder desto größer der brechende Winkel des Prisma, dessen Seiten diese Tangenten vorstellen. Dieses Verhalten liegt in der Natur des Kreisbogens, und kann durch leichte Verzeichnungen anschaulich gemacht werden. So ist in der Figur VII der Winkel des den beiden Punkten o und i zugehörigen Prisma k; würde näher gegen den Rand zu ein anderer Strahl einfallen, so wird der Winkel des zu diesem Strahle gehörigen Prisma größer als k, und an dem äußersten Rande der Linse M ist dieser Winkel, welcher hier durch die letzten Punkte der sich schneidenden krummen Flächen gebildet ist, der größte.

§. 68. Nun ist bereits oben (§. 20) gezeigt worden, daß für eine und dieselbe Richtung des einfallenden Strahles der Brechungswinkel sich vergrößere, also der gebrochene Strahl von der ursprünglichen Richtung um so mehr ab, sonach der Axe früher zugelenkt werde, wenn der brechende Winkel des Prisma sich vergrößert, und daß umgekehrt bei dem kleinern brechenden Winkel auch der Brechungswinkel kleiner werde, die Strahlen also in einer größeren Entfernung von der Linse erst die Axe durchschneiden. Folglich können auch Strahlen, welche in verschiedenen Entfernungen von der Axe auf die Linse auffallen, sich nicht in einem Punkte vereinigen, sondern der Vereinigungspunkt derjenigen Strahlen, welche näher gegen den Rand der Linse einfallen, liegt der Linse näher, und der Vereinigungspunkt derjenigen, welche näher an der Axe einfallen, liegt von der Linse weiter entfernt.

Diese Unvollkommenheit der Linsen, durch welche sie ver-

möge der Eigenthümlichkeit ihrer Kugelgestalt die aus einem leuchtenden Punkte kommenden Strahlen, welche den die ganze Oeffnung der Linse bedeckenden Strahlenkegel (Fig. IX) bilden, nicht wieder in einem Punkte vereinigen, sondern etwas auseinander werfen und zerstreuen, wird die Abweichung wegen der Kugelgestalt oder die sphärische Abweichung genannt.

§. 69. Die Figur XVIII gibt hierüber eine deutliche Ansicht. Von den auf die Linse parallel auffallenden, also aus einem sehr entfernten leuchtenden Punkte kommenden Strahlen, werden die am Rande einfallenden Strahlen p p′ in dem Punkte i der Axe a b vereinigt. Dasselbe ist der Fall mit Strahlen, welche in derselben Entfernung von der Axe rings an der Peripherie der kreisförmigen Linse durchgehen. Die Strahlen q q′ hingegen und alle in demselben Kreise mit ihnen um den Mittelpunkt der Linse liegenden, werden als der Axe näher liegend, in dem entfernteren Punkte f vereinigt. Nimmt man die letzteren Strahlen als der Axe sehr nahe liegend an, so ist f unter allen Vereinigungspunkten der in verschiedenen Entfernungen von der Axe auf die Linse fallenden Strahlen der entfernteste. Er ist der Vereinigungspunkt für die der Axe sehr nahe einfallenden Strahlen, wie er in allen bisher angegebenen Formeln angenommen ist. Die Entfernung der beiden Punkte i und f von einander oder der Unterschied der beiden Vereinigungsweiten cf und ci bezeichnet die Größe dieser Abweichung auf der Axe.

§. 70. Man sieht also hieraus, daß die Strahlen, Statt sich in einem einzigen Punkte zu durchkreuzen, und in diesem das vollkommene Bild des leuchtenden Punktes darzustellen, nicht nur zwischen den Punkten i und f auf der Axe, sondern auch seitwärts in h und h′ sich durchschneiden, so daß die Linie

h h' den Durchmesser eines kleinen Kreises darstellt, durch welchen alle von der Linse kommenden Strahlen in verschiedenen Entfernungen von seiner Peripherie bis zu seinem Mittelpunkte hindurchgehen. Unter allen Theilen des Raumes i f, auf welchen die Strahlen zerstreut sind, sind in diesem Kreise allein sämmtliche vereinigt, und er enthält sonach das am deutlichsten erleuchtete Bild des leuchtenden Punktes. Dieser Kreis wird der Abweichungskreis genannt. Je kleiner er ist, also je mehr er sich dem Bilde des Punktes nähert, das er eigentlich darstellen sollte, desto kleiner ist der Fehler der Abweichung, und umgekehrt. Die Größe seines Durchmessers hängt, wie schon die Figur zeigt, von der Länge i f ab; und wenn man die Größe der Statt findenden Abweichung ausdrücken will, ist es daher gleichbedeutend, ob dieses durch die Angabe der Längenabweichung i f oder des Durchmessers des Abweichungskreises (der Seitenabweichung) geschehe.

§. 71. Eine deutliche Vorstellung von der Beschaffenheit dieser Abweichung kann man sich durch einen Versuch mit einer Konvexlinse verschaffen, um mittelst der Sonnenstrahlen ihre Brennweite zu bestimmen. Man bedecke die eine Fläche dieser Linse mit Papier, ziehe auf demselben zwei koncentrische Kreise, einen nahe am Mittelpunkte, den andern nahe am Rande der Linse, steche in jedem dieser Kreise durch das Papier in gleichen Entfernungen vier kleine Oeffnungen, und halte die Linse (mit Hülfe des unten (§. 121) beschriebenen Apparats gegen die Sonne, so daß die erleuchteten Punkte auf eine Papierfläche fallen. Man wird nun, wenn man dieses Papier von der Linse allmählich entfernt, finden, daß die vier Punkte nahe am Rande sich zuerst in einem Brennpunkte vereinigen, während die vier Punkte des innern Kreises noch außerhalb dieses Punktes stehen, daß aber, wenn man das Papier weiter

entfernt, nun auch die vier Punkte des innern Kreises sich in einem Brennpunkte vereinigen, während die vier ersten Punkte wieder auseinander gegangen sind. Die Fokaldistanzen einer Linse sind daher verschieden, je nachdem sie für Strahlen näher am Rande, oder näher an der Axe gelten; und die Vereinigungsweiten und Brennweiten, welche durch die früheren dioptrischen Formeln angegeben werden, sind sämmtlich für die zunächst an der Axe einfallenden Strahlen zu verstehen.

§. 72. Man kann nun leicht einsehen, welche Unvollkommenheit die sphärische Abweichung in der Darstellung der Bilder durch die Linsen hervorbringe. Ein vollkommen deutliches Bild kann nur dadurch entstehen, wenn, wie früher angenommen wurde, jeder Punkt des Gegenstandes auch wieder durch einen Punkt in dem Bilde dargestellt wird. Dieses ist nun aber nicht mehr der Fall; denn die Stelle dieses Punktes im Bilde vertritt nun der Abweichungskreis; und wenn auch dieser Kreis noch so klein ist, so nimmt er doch immer einen Raum ein; es können daher auch mehrere solche Kreise nicht wie Punkte sehr nahe aneinander liegen, sondern sie fallen übereinander, und decken einander um so mehr, je näher die leuchtenden Punkte des Gegenstandes aneinander liegen. Dieses bringt natürlich eine Verwirrung hervor, indem Strahlen verschiedener leuchtender Punkte sich mit einander vermischen, wodurch ein Mangel an scharfer Begränzung der einzelnen Linien, eine Undeutlichkeit des ganzen Bildes entsteht.

Auf diese Art wird nun in der Figur XIII das Bild yz des Halbmessers des Gegenstandes ec nicht als eine Linie erscheinen, sondern als ein durch die übereinanderfallenden Abweichungskreise aller einzelnen Punkte des Gegenstandes gebildeter Streifen, wie derselbe unter y′z′ vorgestellt ist. Dasselbe findet mit jeder Linie des Gegenstandes Statt, daher

dann die Undeutlichkeit des ganzen Bildes, das mehr oder weniger mit einem neblichten Anfluge überzogen zu seyn scheint; selbst wenn auch an den Rändern gerade keine Farben hervortreten.

§. 73. Die Größe der sphärischen Abweichung hängt für jede Linse von ihrer Oeffnung und ihrer Fokaldistanz ab, wie schon die Ansicht der Figur XVIII lehret. Denn würde die Linse AB eine größere Breite haben bei derselben Fokaldistanz, so würde der Punkt i der Linse noch näher liegen, während f in derselben Lage bleibt, die Abweichung wird hier also größer. Bleibt die Oeffnung der Linse dieselbe, die Fokaldistanz wird aber größer, so fallen die Punkte i und f um so näher an einander, je mehr die Fokaldistanz zunimmt. Die sphärische Abweichung auf der Axe verhält sich demnach bei einer und derselben Glasart wie das Quadrat der Oeffnung der Linse, und verkehrt, wie die Fokaldistanz. *)

---

*) Für diejenigen, die hier etwas weiter gehen wollen, dient Folgendes. Ist e die halbe Oeffnung der Linse, und n der Brechungsinder, so ist (in Figur XVIII) if oder die Längenabweichung für parallele Strahlen und eine gleichschenkliche Linse

$$= \left(\frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{4}(2n+1) + \frac{n+2}{8n}\right) \times \frac{e^2}{(n-1)^2 f};$$

Nennt man den in diesem Ausdrucke in den beiden Klammern eingeschlossenen Werth $= A$, so ist also die Längenabweichung

$= A \cdot \frac{e^3}{(n-1)^2 f}$; die also nur von der Oeffnung der Linse (e^2) und der Fokaldistanz (f) bei gleichem Brechungsvermögen (n) abhängt. Hieraus und aus der Natur der krummen sogenannten kaustischen Linie, nach welcher die wegen der sphärischen Gestalt abweichenden Strahlen sich durchschneiden, ergibt sich hh', oder der Durchmesser des Abweichungskreises

$$= A \cdot \frac{e^3}{2(n-1)^2 f^2} = \frac{A}{2(n-1)^2} \cdot \frac{e^3}{f^2}.$$

Der Durchmesser des Abweichungskreises, welcher

Gesetzt, es werde eine Linse als Objectivglas für ein Fernrohr verwendet, welche 3 Fuß Fokallänge und 1.3 Zoll Oeffnung hat, und man wollte nun die Oeffnung eines anderen bis auf 2.2 Zoll vergrößern, ohne daß dadurch die Abweichung vergrößert würde, so müßte sich verhalten $1.3^2 : 36'' = 2.2^2 : f$; daher die Fokaldistanz f der zweiten Linse = 103.1 Zoll = 8 Fuß 7.1 Zoll betragen müßte.

§. 74. Diese Abweichung findet übrigens für Konkavlinsen eben so Statt, wie für die Konvexlinsen, da bei beiden die Brechung ganz auf dieselbe Art, nur im entgegengesetzten Sinne geschieht. Daher haben Konkavlinsen von derselben Oeffnung und von derselben Krümmung ihrer Flächen aus derselben Glasart auch dieselbe sphärische Abweichung, als die gleich gestalteten Konvexlinsen; nur ist diese Abweichung entgegengesetzt. Die Figur XVI macht dieses deutlich.

XIX

Wenn in die Konkavlinse AB die konvergenten Strahlen pp′ qq′ einfallen, so durchschneiden die Strahlen qq′, welche näher an der Axe einfallen, die Axe in dem Punkte i näher an dem Glase, und die von der Axe entfernter einfallenden Strah-

---

die Größe der sphärischen Seitenabweichung darstellt, verhält sich also gerade wie der Kubus der Oeffnung, und verkehrt wie das Quadrat der Fokaldistanz. Aus dieser Formel läßt sich die Größe des Abweichungskreises, oder des Kreises, in welchen das Bild eines Punktes durch die sphärische Abweichung der Strahlen zerstreut wird, bestimmen, wenn die Oeffnung, die Fokaldistanz und der Brechungsinder bekannt sind. Z. B. es sey die Oeffnung des Glases = 4 Zoll oder $e = 2''$, die Fokaldistanz = 50 Zoll; $n = 1.53$; so ist der Durchmesser des Abweichungskreises = 0.00275 Zoll = 0.0330 Linien; d. i. jeder Punkt des Gegenstandes, der bei vollkommener Beschaffenheit der Linse auch wieder nur durch einen Punkt in dem Bilde dargestellt werden sollte, nimmt in diesem einen Raum von 0.033 Linien ein.

len pp′ durchschneiden dieselbe in dem Punkte f weiter von dem Glase entfernt. Denn da gegen den Rand des Glases die Brechung größer wird, bei dem Konkavglase aber die Brechung in der Ablenkung des Strahles von der Axe besteht; so werden die äußern Strahlen pp′ weiter von der Axe abgelenkt, durchschneiden dieselbe also weiter vom Glase oder in dem Punkte f. Folglich ist die Lage der Strahlen in dem Vereinigungsraume bei dem Konkavglase jener bei dem Konvexglase entgegengesetzt: bei dem Konvexglase kommen in den Punkt f die näher an der Axe einfallenden Strahlen, bei dem Konkavglase hingegen kommen in diesen Punkt die weiter von der Axe einfallenden Strahlen: eben so vereinigen sich in dem Punkte i bei dem Konvexglase die näher am Rande einfallenden Strahlen, bei dem Konkavglase hingegen die zunächst an der Axe einfallenden Strahlen.

§. 75. Die sphärische Abweichung einer Linse kann bei gleicher Oeffnung und gleicher Fokaldistanz durch das Verhältniß der Krümmungen der beiden Flächen vermindert werden. Man kann es sich durch die Verzeichnung einer Figur deutlich machen, daß diese Abweichung bis zu einer Gränze abnimmt, wenn die vordere Fläche einer Linse, nämlich die dem Gegenstande zugekehrte, mehr gekrümmt ist, als die hintere Fläche. Ist der Krümmungshalbmesser der vordern Fläche = r, jener der hintern = R, so gilt für parallele Strahlen für eine Linse, welche die kleinste Abweichung haben soll, die Formel

$$\frac{r}{R} = \frac{4 + n - 2nn}{n(2n + 1)}$$

wo n den Brechungsinder des Glases bezeichnet.

Z. B. Der Brechungsinder des Glases sey = 1.5; so ist

$$\frac{r}{R} = \frac{5.5 - 4.5}{6} = \frac{1}{6};$$

für diesen Brechungsindex hat also eine doppelt konvexe Linse bei derjenigen Form die geringste Abweichung, bei welcher der Halbmesser der hinteren Fläche 6mal größer ist, als jener der vorderen. Wäre der Brechungsindex = 1.53; so ergibt sich r : R = 1 : 7.33; der Halbmesser der zweiten Fläche müßte also hier $7\frac{1}{3}$mal größer seyn, als jener der ersten, wenn die sphärische Abweichung die geringste seyn soll. Eine Linse nach diesem Verhältnisse der Krümmungshalbmesser heißt eine Linse von der besten Form. Die beste Form ist vorzüglich für Brenngläser tauglich.

§. 76. Wenn man die Größe der Abweichung einer Linse von der besten Form . . . . . = 1.000

annimmt, so ist die Abweichung

Einer Plan-Konvexlinse, deren Planseite gegen das Objekt gekehrt ist . . . . . = 4.200

Einer Plan-Konkavlinse, mit der Planseite gegen das Objekt . . . . . = 4.200

Einer Plan-Konvexlinse, mit der konvexen Seite gegen das Objekt . . . . . = 1.081

Einer Plan-Konkavlinse, mit der konkaven Seite gegen das Objekt . . . . . = 1.081

Einer doppelt-konvex oder doppelt-konkaven Linse, gleichschenklich . . . . . = 1.567.

Hieraus erhellet, daß die Plankonvex- oder Plankonkavlinse der Linse von der besten Form in der Abweichung am nächsten kommen, wenn die gekrümmte Fläche derselben gegen das Objekt gerichtet ist; daß eine solche Linse aber die größte Abweichung hervorbringe, wenn ihre Planseite dem Objekte zugekehrt ist. Diese Regel ist für die praktische Anwendung von Wichtigkeit.

Von der Unvollkommenheit des Bildes wegen der Farbenzerstreuung durch die Linse.

§. 77. Wir müssen nun eine zweite Unvollkommenheit betrachten, welche bei der Darstellung der Bilder durch die Linsen Statt findet, eine Abweichung anderer Art, welche die Abweichung wegen der Farbenzerstreuung oder die chromatische Abweichung genannt wird.

Bis hierher haben wir nämlich immer die Brechung des Lichtes so betrachtet, als wenn der Lichtstrahl, welcher durch ein von zwei Flächen, die in einem Winkel zusammenlaufen, begränztes Mittel hindurch geht, seine Beschaffenheit, wie vor dem Eintritte beibehielte, folglich seine Richtung auch nur durch eine einfache Linie ausgedrückt werden könnte. Dieses ist jedoch in der Natur nicht der Fall. Wenn ein weißer Strahl eine Brechung durch nicht-parallele Flächen erleidet; so erleidet er auch jedesmal eine Zerstreuung der einzelnen prismatischen Farbenstrahlen, aus welchen er zusammengesetzt ist; d. h. diese Strahlen, welche vorher in einem einzigen weißen Strahlenbüschel vereinigt waren, sondern sich in der Brechung auseinander und werden einzeln als farbige Strahlen sichtbar. Der Grund davon liegt darin, weil diese einzelnen Strahlen eine verschiedene Brechbarkeit besitzen, der gebrochene Strahl also nicht mehr, wie vor dem Eintritte, in einer Linie vereinigt ist, sondern in jene verschieden brechbare Strahlen, von welchen also jedem in demselben Mittel ein eigener und verschiedener Brechungswinkel zukömmt, gespalten erscheinen muß.

§. 78. In der Figur XX sey o ein Strahl weißes Licht, der in das Prisma ABC eintritt, hier gebrochen wird, und in

seine einzelnen farbigen Strahlen zerstreut, auf einer Fläche das sogenannte Spektrum RmV bildet, ein aus parallelen farbigen Streifen bestehendes in die Länge gezogenes Bild, an dessen einer Gränze R sich die rothen Strahlen, als die am wenigsten brechbaren, und an der anderen Gränze V sich die violetten, als die am meisten brechbaren Strahlen, befinden: zwischen beiden liegen die gelben, grünen und blauen. Da cp das Einfallsloth ist; so ist nr' der Sinus des Einfallswinkels, io der Sinus des Brechungswinkels der rothen, tu der Sinus des Brechungsmittels der violetten Strahlen. Der Strahl cm hat die mittlere Richtung zwischen beiden, oder theilt das Spektrum in zwei gleiche Theile; er stellt den mittleren gebrochenen Strahl vor, und sein Winkel mit dem Einfallslothe heißt der mittlere Brechungswinkel: es ist derselbe, welcher in allen früher erwähnten Fällen, wo der Strahl als einfach betrachtet wurde, schlechtweg der Brechungswinkel genannt worden ist. Der Sinus dieses Winkels ist sm. Der Winkel RcV, welcher durch die Länge des Spektrums RV bestimmt wird, heißt der Zerstreuungswinkel.

§. 79. Für ein und dasselbe Mittel, also für eine und dieselbe Art von Glas ist der Zerstreuungswinkel jederzeit dem mittleren Brechungswinkel proportional, d. h. wenn der Brechungswinkel größer wird durch die Vergrößerung des Einfallswinkels oder des brechenden Winkels des Prisma (§. 20), so wird auch der Zerstreuungswinkel größer. Dieses ist aber keineswegs bei verschiedenen Glasarten der Fall. In der Regel geben zwar jene Glasarten, welche eine stärkere mittlere Brechung hervorbringen, auch eine stärkere Zerstreuung; aber beide sind nicht einander proportional, oder die Zerstreuung wächst nicht in demselben Verhältnisse, in welchem die Brechung wächst, oder umgekehrt. So ist z. B. in der Figur XX, wenn das

Prisma ABC aus Crown- oder Spiegelglas besteht, der mittlere Brechungswinkel pcm und der Zerstreuungswinkel ist RcV: gibt man nun an die Stelle jenes Prisma ein anderes von Flintglas, das also ein größeres Brechungsvermögen hat, vermindert jedoch seinen brechenden Winkel soweit, damit eben derselbe Brechungswinkel mcp entstehe; so ist, ungeachtet der Gleichheit dieser Brechungen, der Zerstreuungswinkel nun nicht mehr RcV, sondern rcv.

§. 80. Von den farbigen Strahlen, in welche sich der weiße Strahl bei seinem Austritte aus der brechenden Fläche theilt, ist also jeder einzelne als ein einfacher Strahl anzusehen, der für dieses Mittel seinen bestimmten Brechungsinder hat. So ist der Brechungsinder für den violetten Strahl (Fig. XIX) $= \frac{io}{nr'}$, jener für den rothen Strahl $= \frac{tu}{nr'}$, jener für den mittleren gelben $= \frac{ms}{nr}$. Gesetzt, bei einem bestimmten Glase sey der Winkel pcR, oder der Winkel, welchen der äußerste rothe Strahl mit dem Einfallslothe macht $= 50°48'.\frac{1}{3}$, der Winkel pcV oder der Brechungswinkel des violetten Strahles $= 51°15'\frac{3}{5}$; der Winkel pcm oder der mittlere Brechungswinkel $= 50°48'\frac{1}{3}$, und der Einfallswinkel pcN $= 30°$; so ist dessen Sinus $nr' = 0.5$, der Sinus $io = 0.77$, der Sinus $tu = 0.78$, der Sinus $ms = 0.775$. Also der Brechungsinder für den violetten Strahl $= \frac{0.78}{0.5} = 1.56$, für den rothen Strahl $= \frac{0.77}{0.5} = 1.54$, und für den mittleren Strahl $= \frac{0.775}{0.5} = 1.550$. Oder mit andern Worten, ist der Einfallssinus $= 1$; so ist der Brechungssinus des violetten

Strahls = 1.56, des rothen = 1.54, und des mittleren gelben = 1.55.

§. 81. Die verhältnißmäßige Größe der Zerstreuung eines bestimmten Mittels wird also durch die Größe des Zerstreuungswinkels im Verhältnisse zu dem mittleren Brechungswinkel gegeben. Dieses Zerstreuungsverhältniß eines bestimmten Mittels wird durch die Zahl ausgedrückt, welche man erhält, wenn man den Brechungsindex der rothen Strahlen von jenem der violetten abzieht, und diese Differenz durch den Index der mittleren Brechung, weniger 1, dividirt. Das Verhältniß zwischen den Zerstreuungsverhältnissen zweier verschiedener Glasarten, ist das Verhältniß der Zerstreuungskräfte dieser Gläser, gewöhnlich auch das Zerstreuungsverhältniß dieser Gläser in Bezug auf einander genannt. Dieses Zerstreuungsverhältniß für Flint- und Crownglas wird gewöhnlich so ausgedrückt, daß die Zerstreuung des Flintglases = 1 gesetzt wird.

§. 82. In dem vorher angeführten Beispiele, wo der Brechungsindex für die violetten Strahlen = 1.56, jener für die rothen = 1.54, und jener für die mittleren = 1.55 gegeben worden ist, wird also für das Glas, zu welchem diese Zahlen gehören, das Zerstreuungsverhältniß ausgedrückt durch

$$\frac{1.56 - 1.54}{1.55 - 1} = 0.0363.$$

Es sey nun ein anderes Glas, für welches durch die gehörige Messung des Zerstreuungswinkels der Brechungsindex der violetten Strahlen = 1.595, jener der rothen = 1.565, und jener der mittleren = 1.58 gefunden worden ist; so ist das Zerstreuungsverhältniß dieses Glases

$$= \frac{1.595 - 1.565}{1.58 - 1} = 0.0517.$$

Wird nun das Zerstreuungsverhältniß dieser beiden Gläser miteinander verglichen, wobei das größere Zerstreuungsverhältniß = 1 gesetzt wird: so verhält sich 0.0517 : 0.0363 = 1 : 0.704, oder das Zerstreuungsverhältniß dieser Gläser ist = 0.704. Das auf die letztere Art ausgedrückte Verhältniß ist dasjenige, welches in der Berechnung der achromatischen Objektive stets gebraucht wird, weil hier immer nur das Zerstreuungsverhältniß zweier Gläser in Bezug auf einander betrachtet wird. Wenn es also heißt: von diesem Crown- und diesem Flintglas ist das Zerstreuungsverhältniß = 0.704; so ist damit ausgedrückt, daß sich die Zerstreuungskraft des Flintglases zu jener des Crownglases verhalte, wie 1 : 0.704.

§. 83. Die Farbenzerstreuung, welche ein weißer Strahl im Durchgange durch das Prisma erleidet, erfolgt bei einem Konvex- oder Konkavglase aus dem schon oben (§. 28) angeführten Grunde in jedem Punkte desselben, auf welchen das Licht fällt; und der durch einen solchen Punkt einfallende und durch die Brechung in seine Farben gespaltene Strahl durchschneidet die Axe in mehreren Punkten, indem der rothe Strahl, als der am wenigsten brechbare weiter von dem Glase ab, und der violette, als der am meisten brechbare, näher zu dem Glase hin, die Axe durchschneidet. Diese Art der Strahlenzerstreuung auf der Axe wird die Abweichung wegen der Farbenzerstreuung oder die chromatische Abweichung genannt.

§. 84. Die Figur XXI zeigt die nähere Beschaffenheit dieser Abweichung. Die parallelen weißen Strahlen, welche durch die Linse gehen, werden bei ihrem Austritte in die prismatischen Farben gespalten: der am meisten brechbare violette Strahl v durchschneidet die Axe in i, der am wenigsten brech-

bare rothe Strahl r durchschneidet die Axe in o. Der Brennpunkt der rothen Strahlen liegt also weiter von dem Glase ab, als jener der violetten. Die mittleren Strahlen fallen in die Mitte zwischen beiden Brennpunkten, da wo die senkrechte Linie ab die Axe durchschneidet. Diese Linie ab ist der Durchmesser des Abweichungskreises für diese chromatische Abweichung; und die Länge io bezeichnet die Größe derselben auf der Axe.

§. 85. Für die Deutlichkeit des Bildes ist die Wirkung dieser Abweichung dieselbe, wie jene der sphärischen Abweichung. Die Strahlen, die aus einem Punkte kommen, werden auch hier nicht wieder in einem Punkte vereinigt, sondern sie gehen durch den Abweichungskreis ab, und machen also eben so wie dort aus jedem Punkte einen kleinen Kreis, welche sich wechselseitig einander deckend, das Bild undeutlich machen und die scharfen Linien und Kanten verwischen.

Die Wirkung der chromatischen Abweichung ist jedoch größer, als jene der sphärischen, weil der chromatische Abweichungskreis bedeutend größer ist, als jener welcher aus der sphärischen Abweichung entspringt: in dem letzteren ist jedoch verhältnißmäßig die Lichtstärke größer; daher sich jene Wirkung nicht nach dem Verhältnisse der Durchmesser jener Kreise schätzen läßt.

§. 86. Aus der Betrachtung der Figur XXI ersieht man leicht, daß die chromatische Längenabweichung io um so größer werde, je größer die Fokallänge der Linse von demselben Glase ist, und daß dieselbe nicht von der Oeffnung der Linse abhängt, sondern für verschiedene Oeffnungen bei gleicher Fokallänge dieselbe ist; also umgekehrt mit dem Verhalten der sphärischen Längenabweichung. Der Halbmesser des chromatischen Abweichungskreises hängt dagegen von dem Halbmesser der Oeffnung der Linse ab, und ist diesem proportional, wie man

ebenfalls leicht aus der Verzeichnung der Figur ersehen kann *).

Die Wegschaffung dieser chromatischen Abweichung, welche sich nach der Theorie als die größte und wesentlichste Unvollkommenheit des einfachen Objektivglases darstellt, war ursprünglich der nächste Zweck der achromatischen Einrichtung der Objektive.

Die Gründe derselben lassen sich nunmehr auf folgende Weise einsehen.

Von der achromatischen Einrichtung der Objektive.

§. 87. Zuerst wollen wir die Art, wie ein Konkavglas die Strahlen zerstreut, mit derjenigen vergleichen, wie diese Zerstreuung bei der Konvexlinse Statt findet. Bei der Konvexlinse nämlich, in der Figur XXI, fällt der violette Strahl, als

---

*) Wenn f die Fokaldistanz ist, und dn die Differenz der Brechungsinder der violetten und rothen Strahlen für eine Glasart bezeichnet (§. 81); so ist die chromatische Längenabweichung $= f \frac{dn}{n - 1}$: sie ist also bei demselben Glase um so größer, je größer f. In dem oben (§. 82) angegebenen Beispiele war $\frac{dn}{n - 1} = 0.0363$; die Fokaldistanz der Linse sey 36 Zoll; so ist also in diesem Falle die chromatische Längenabweichung $= 36 \times 0\,0363 = 1.306$ Zoll.

Der Durchmesser des chromatischen Abweichungskreises ist $= e \frac{dn}{n - 1}$, wo e die halbe Oeffnung der Linse bezeichnet. Dieser Durchmesser hängt also bei demselben Glase nur von dieser Oeffnung ab. Hat in dem vorigen Falle die Linse eine Oeffnung von 3 Zoll; so ist der Durchmesser des Abweichungskreises $= 1\frac{1}{2} \times 0.0363 = 0.0544$ Zoll, oder $\frac{1}{55}$ der Oeffnung.

der am meisten brechbare näher an die Linse, der rothe Strahl hingegen ist am weitesten von derselben entfernt.

Fallen nun aber, in der Figur XXII, konvergente Strahlen auf die Konkavlinse so, daß dieselben nach ihrem Durchgange die Axe der Linse durchschneiden, oder einen wirklichen Fokus bilden; so werden diejenigen Strahlen am weitesten von der Axe hinweg gebrochen, welche die größte Brechbarkeit besitzen, und die am mindesten brechbaren Strahlen nähern sich der Axe früher. Nach der Brechung durch das Konkavglas fällt also der Brennpunkt der violetten Strahlen weiter von der Linse weg, und der Brennpunkt der rothen Strahlen liegt der Linse näher, welches gerade das Umgekehrte von der Lage dieser Strahlen bei der Konvexlinse ist. Stellt man daher die Konkavlinse hinter die Konvexlinse, damit die von der letzten kommenden Strahlen durch jene hindurchgehen; so läßt sich leicht einsehen, daß unter gewissen Bedingnissen durch diese entgegengesetzte Brechungsweise die durch die Konvexlinse verursachte Zerstreuung der Strahlen durch die Konkavlinse wieder aufgehoben werde, indem durch letztere der rothe Strahl wieder eben so viel gegen die Axe genähert, oder der violette Strahl von derselben entfernt wird, als ersterer durch das Konvexglas von der Axe entfernt oder letzterer derselben näher gebracht worden ist; wodurch die farbigen Strahlen wieder parallel in einen Strahlenbüschel vereinigt werden müssen. Hiernach läßt sich schon einsehen, daß diese Aufhebung der Zerstreuung durch die entgegengesetzte Brechung nur dann für das zusammengesetzte Objektiv möglich sey, wenn die beiden Linsen aus Glasarten bestehen, die ein verschiedenes Zerstreuungsvermögen haben. Denn die Konkavlinse wird die Zerstreuung der Konvexlinse nur dann aufheben, wenn die durch sie hervorgebrachte entgegengesetzte Zerstreuung der ersteren gleich ist: nun verhält sich bei gleichem

Glase die Größe der Zerstreuung wie die Größe der Brechung; folglich ist in diesem Falle auch die Größe der entgegengesetzten Brechung in beiden gleich, und der Strahl tritt also zwar farbenlos, aber parallel mit dem einfallenden Strahle aus, kann also die Axe nicht in einem Brennpunkte durchschneiden. Damit dieses letztere oder die Konvergenz der austretenden Strahlen erfolge, ist daher nothwendig, daß die Glasarten für beide Linsen ein verschiedenes Zerstreuungsvermögen haben, wie aus dem Nachfolgenden noch näher erhellet.

§. 88. Es sey AB Figur XXIII eine konvexe Linse, und an diese anliegend CD eine konkave Linse. Für den bei o in die konvexe und bei m in die konkave Linse eintretenden Strahl wirken gleichbedeutend die beiden Prismen abc = I und acd = II, welche aus den Tangenten der Punkte n, m und p bestehen, und daher gegeneinander eine verkehrte Lage haben. Der Strahl o geht nun nach seiner Brechung in dem Prisma I, in das zweite Prisma II, welches den Strahl auf dieselbe Art bricht, als die ihm zugehörige konkave Linse; wonach der Strahl in der Richtung pN fortgeht. Es sind nun hier verschiedene Fälle möglich. Hat nämlich das Prisma II denselben brechenden Winkel, wie das Prisma I, oder ist $\prec a = \prec c$, und haben sie ebenfalls dasselbe Brechungs- und Zerstreuungsvermögen, oder, was dasselbe ist, die konkave Linse CD habe mit der konvexen Linse AD dieselbe Krümmung und dieselbe Brechungs- und Zerstreuungskraft; sie seyen also von demselben Glase; so wird der bei p austretende Strahl parallel mit dem einfallenden on fortgehen, folglich farbenlos erscheinen, weil die Veränderung, welche der einfallende Strahl durch das erste Prisma oder die konvexe Linse erlitten hat, aufgehoben wird, durch die gleiche und entgegengesetzte Veränderung, welche das zweite verkehrte Prisma oder die Konkavlinse hervorbringt. Die

zwei Prismen bilden in diesem Falle ein viereckiges Prisma mit parallelen Seiten, und die zwei Linsen ein Glas mit konzentrischen oder parallelen Kurven, in denen folglich der austretende Strahl dem einfallenden parallel bleibt. (§. 25.)

§. 89. Nehmen wir nun ferner für beide Prismen dieselben brechenden Winkel, wie vorher, oder für beide Linsen dieselbe Krümmung; hat aber das Prisma II oder die Konkavlinse ein größeres Brechungs- und Zerstreuungsvermögen als das Prisma I oder die Konvexlinse; so wird der Strahl pn nach der Brechung gefärbt seyn, weil das Prisma II die Wirkung des Prisma I nicht nur aufhebt, sondern in seiner eigenen Wirkung noch einen Ueberschuß behält, folglich eine Farbenzerstreuung durch eben diesen hervorbringt. Es sey also die Konvexlinse AB von Spiegelglas (Crownglas) und die Konkavlinse CD von Flintglas, welches ein größeres Brechungs- und Zerstreuungsvermögen hat, als das erstere; und die Krümmungen beider Linsen oder die brechenden Winkel der korrespondirenden Prismen seyen gleich; so wird der Strahl pN von der Axe der Linse hinweggelenkt durch den Ueberschuß der brechenden Kraft der Konkavlinse, und er erscheint gefärbt durch den Ueberschuß der zerstreuenden Kraft eben dieser Linse über jene vom Spiegelglas. Es ist also in diesem Falle kein positiver Fokus für beide Linsen vorhanden.

Setzen wir den weiteren Fall, die beiden Prismen haben ungleiche Winkel, und zwar sey der Winkel des Flintprisma um so viel vermindert, daß die Größe der Brechung in beiden gleich wird, oder daß diese Winkel im Verhältnisse der Brechungsvermögen der beiden Prismen stehen; so wird der ausfahrende Strahl parallel mit dem einfallenden und hier derselbe Fall vorhanden seyn, wie im §. 88.

§. 90. Wir sehen hieraus, daß nicht nur die Aufhebung

der vorhandenen Zerstreuung, sondern auch die Konvergenz der Strahlen in einen Brennpunkt bewirkt werden kann, so bald man die Größe der Brechung, also auch der Zerstreuung (§. 79) der konkaven Linse verhältnißmäßig zu dem Zerstreuungsvermögen vermindert.

Dieses kann nun durch die Verminderung der Konkavität der Flintglaslinse, oder was dasselbe ist, durch die Verminderung des brechenden Winkels des Prisma II geschehen, weil für dasselbe Mittel der Winkel der Zerstreuung wächst oder abnimmt mit dem Winkel der Brechung (§. 79).

Die Konkavität der Linse CD, oder der brechende Winkel des Prisma II sey nun so weit vermindert, daß die Größe ihrer Zerstreuung gleich ist der Zerstreuung der Konvexlinse AB; so wird der Strahl pN ungefärbt austreten, weil die Farbenzerstreuung der Konkavlinse aus Flintglas der gleichgroßen Farbenzerstreuung der Konvexlinse aus Spiegelglas entgegenwirkt und sie aufhebt; d. h. für die gespaltenen und divergenten farbigen Strahlen den Parallelismus oder die Vereinigung in einen Strahlenbüschel wieder herstellt. Da aber zugleich der Konvexlinse noch ein Ueberschuß an Brechung bleibt, indem die durch die Konvexlinse bewirkte Konvergenz der einfallenden Strahlen nicht ganz von der durch die Konkavlinse bewirkten Divergenz aufgehoben wird, so wird der farbenlose Strahl pN auch gegen die Axe der beiden Linsen gebrochen. Diese Zusammensetzung bildet also ein achromatisches Prisma, oder ein achromatisches Objektiv.

§. 91. Man sieht hieraus von selbst, daß die Möglichkeit der Herstellung eines solchen zusammengesetzten achromatischen Objektivglases gerade in dem Umstande liegt, daß in verschiedenen Glasarten die Zerstreuungskraft der Brechungskraft nicht proportional ist (§. 79). Denn wäre diese Proportionalität vor-

handen, so wäre bei gleicher Zerstreuung der beiden Linsen auch ihre Brechung gleich, folglich könnte immer nur der unter §. 88 angeführte Fall eintreten, d. h. der Strahl ginge durch beide Gläser wohl ungefärbt durch, könnte sich aber nicht in einem Brennpunkte vereinigen. Je größer also das Zerstreuungsverhältniß des Flintglases gegen das Spiegelglas ist, und je geringer der Unterschied beider Gläser im Brechungsvermögen, desto kleiner muß der Winkel des Prisma II, oder desto flacher muß die Krümmung des Konkavglases, folglich auch desto größer der Brechungsüberschuß der Konverlinse werden, und umgekehrt. Wenn wir z. B. annehmen, daß das Glas der Konverlinse oder des Prisma I und jenes der Konkavlinse oder des Prisma II gleiche Zerstreuungskräfte besäßen, die Brechungskraft des Prisma II aber größer wäre, so müssen, damit der Strahl farbenlos austrete, die brechenden Winkel beider Prismen gleich seyn: in diesem Falle würde aber, weil das Prisma II oder das Konkavglas einen Ueberschuß von Brechung hat, der Strahl nicht gegen die Axe in einen Fokus konvergiren, wie in dem Falle §. 89.

Gesetzt ferner, von beiden Gläsern sey das Brechungsvermögen gleich, aber die Zerstreuungskraft des Prisma II größer und der Winkel dieses Prisma oder die Konkavität der zugehörigen Linse sey so weit vermindert, daß in beiden die Zerstreuung gleich groß wird; so ist auch die Größe der Brechung in diesem Prisma II oder in dem Konkavglase vermindert (§. 20); die Konverlinse erhält also einen Ueberschuß an Brechung, und zwar um so mehr, je mehr zur Herstellung der gleichen Zerstreuung der Winkel des Prisma II hat vermindert werden müssen, je größer also das Zerstreuungsvermögen der Substanz dieses Prisma ist; und der Strahl wird nun der Axe mehr oder weniger zugelenkt. Die Brennweite der zusammengesetzten

Linse muß daher auch um so kürzer werden, je größer das Zerstreuungsverhältniß des Konkavglases zu jenem des Konvexglases ist, bei gleichem oder wenig verschiedenen Brechungsvermögen; und umgekehrt wird jene Fokallänge um so größer, je geringer der Unterschied in dem Zerstreuungsvermögen beider Glasarten wird.

§. 92. In diesem Falle der gleichen und entgegengesetzten Zerstreuung, durch welche die Farbenlosigkeit hergestellt wird, stehen also bei gleichem Brechungsvermögen der beiden Glasarten, die Winkel der beiden Prismen im verkehrten und die Krümmungshalbmesser der beiden Linsen im geraden Verhältnisse der Zerstreuungsvermögen, d. i. der Winkel des Spiegelglasprisma oder der Halbmesser der Flintglaslinse verhält sich zu dem Winkel des Flintglasprisma oder dem Halbmesser der Spiegelglaslinse, wie das Zerstreuungsvermögen des Flintglases zu jenem des Spiegelglases. Ist das Brechungsverhältniß aber verschieden, wie das immer der Fall ist; so tritt die Gleichheit der entgegengesetzten Zerstreuung bei beiden Linsen dann ein, wenn ihre Fokaldistanzen im Verhältnisse der Zerstreuungskräfte stehen, weil die durch das Brechungsverhältniß korrigirten Krümmungshalbmesser die Fokaldistanzen der äquivalenten gleichseitigen Linsen selbst sind (§. 39).

Aus dem Bisherigen wird es sonach vollkommen deutlich, daß zwei mit den brechenden Winkeln umgekehrt aneinander gelegte Prismen oder eine Konvexlinse aus Spiegelglas zusammengefügt mit einer Konkavlinse aus Flintglas, achromatisch sind, d. h. die einfallenden Strahlen bei ihrem Austritte ohne Farbenzerstreuung durchlassen, wenn die Gleichheit der Zerstreuung beider Prismen oder Linsen durch die angemessene Verminderung des Winkels des Flintglasprisma oder die Verminderung der Konkavität der Flintglaslinse mit Bezug auf die Verschieden-

heit des Brechungsverhältnisses hergestellt wird; oder mit andern Worten, die aus den beiden Glasarten zusammengesetzte Doppellinse ist achromatisch, wenn die Fokaldistanzen beider Linsen im Verhältnisse ihrer Zerstreuungskräfte hergestellt werden.

§. 93. Diese Wirkung der nach entgegengesetzter Richtung brechenden, aus zwei verschiedenen Glasarten bestehenden, Linsen zur Aufhebung der Farbenzerstreuung vereinigt übrigens nicht das ganze Spektrum in den weißen Strahl, sondern nur die äußersten oder die am meisten vorwaltenden Strahlen desselben, und die mittleren, nämlich die rothgelben, gelben, grünen und lichtblauen, bleiben unvereinigt, und bilden ein sekundaires Spektrum, das durch keine, wie immer geartete Einrichtung eines doppelten oder dreifachen aus Spiegel- und Flintglas zusammengesetzten Objektivglases völlig aufgehoben werden kann. Ein solches aus zwei verschiedenen Glasarten zusammengesetztes Objektiv vereinigt nur zwei Farben: sollten drei Farben vereinigt werden, so wären für das Objektiv drei verschiedene Glasarten von bestimmten Brechungs- und Zerstreuungsverhältniß erforderlich; für vier Farben vier, u. s. w.

Obgleich die Wirkung dieses sekundairen Spektrums auf die Undeutlichmachung des Objekts nur unbedeutend ist; so hindert sie doch die Herstellung eines vollkommen achromatischen Objektivs. Wenn man daher auch mit dem besten Achromaten, der heut zu Tage verfertiget werden kann, den Mond oder ein anderes beleuchtetes Objekt betrachtet, und den Okulareinsatz über die Gränze des deutlichen Sehens herauszieht, so zeigt der Mond einen Rand von schwach purpurfarbenem Lichte, und wenn das Augenglas über den genannten Punkt hineingestoßen wird; so sieht man einen schwachen Rand von grüngelbem Lichte.

Dieses sind die Farben des sekundairen Spektrums, und zugleich ein Zeichen der soviel möglich vollbrachten Achromatizität, und daher eine Probe für ein gutes achromatisches Objektiv. In diesem Falle sind nämlich die zwei lebhaftesten Farben des Spektrums vereinigt, nämlich das helle an das Orange gränzende Roth und das dunkle lebhafte Blau, welche die am meisten in die Augen fallenden Farben des Spektrums ausmachen. Es bleibt sonach die Mischung der beiden äußersten Farben, violett und lichtroth, als purpurfarben an der einen Seite, und die Mischung der mittleren Strahlen grün und gelb, als grünlichgelb an der andern Seite eines weißen Gegenstandes, wenn der Fokus auf die vorige Art verrückt wird. Diese Farben des sekundairen Spektrums sind die schwächsten, welche aus den nicht vereinigten Farben entstehen können, und sie beeinträchtigen daher die Deutlichkeit des Bildes viel weniger, als wenn durch die Aufhebung der Farbenzerstreuung die beiden äußersten Farben, Violett und Roth vereiniget wären, sonach für das sekundaire Spektrum die Mischung aus dem lebhaften Orange und dem starken Blau übrig bliebe.

§. 94. Dasjenige, was bisher von dem doppelten Objektivglase gesagt worden ist, bei welchem übrigens, wie schon aus der Figur erhellet, die Konvexlinse aus Spiegelglas dem Objekte zugewendet ist, gilt auch für das dreifache Objektivglas, welches aus zwei dünnern Konvexgläsern von Spiegelglas und einem zwischen denselben befindlichen Konkavglas aus Flintglas besteht, Figur XXIV. Denn die beiden dünnern Konvexgläser des dreifachen Objektivs leisten dieselbe Wirkung als die einfache dickere Konvexlinse des doppelten: man kann sich letztere in zwei plankonvexe Gläser getheilt vorstellen, jedes derselben an eine Seite des konkaven gelegt, und jede dieser plankonvexen Linsen kann man als in eine doppelt konvexe Linse von derselben

Fokaldistanz verwandelt ansehen; so ist in Beziehung auf die Brechungsart der Strahlen immer dieselbe Einrichtung vorhanden.

Die dreifachen Objektive haben zwar, besonders für empyrische Optiker einige Vortheile in der Bearbeitung und Zusammensetzung; ein doppeltes Objektiv ist jedoch für die richtige Centrirung leichter hergerichtet, als ein dreifaches, hat auch mehr Licht, da es nur vier reflektirende Flächen hat; erfordert jedoch eine genaue Bearbeitung der Linsen, damit die möglichste Uebereinstimmung mit der Rechnung hergestellt werde. Die doppelten Objektive haben daher gegenwärtig die dreifachen verdrängt: sie bestehen aus einer doppelt konvexen Linse aus Spiegelglas, dem Objekte zugekehrt, und einer Konkavlinse aus Flintglas: letztere kann plankonkav, doppelt konkav oder konvexkonkav seyn. Die Form eines solchen doppelten Objektivglases von der letzten Art ist jene der Fig. XXV, wo der Pfeil die Richtung der einfallenden Strahlen anzeigt, oder die Fläche i dem Gegenstande zugekehrt ist. Diese Einrichtung wird bei den noch folgenden Bestimmungen immer als Norm angenommen.

§. 95. Um also ein solches aus zwei Linsen, nämlich der doppelt konvexen Linse aus Spiegelglas und der konkaven oder konvexkonkaven Linse aus Flintglas zusammengesetztes Objektivglas achromatisch herzustellen, ist nichts weiter nöthig, als die Fokaldistanzen dieser beiden Linsen im Verhältnisse ihrer Zerstreuungskräfte herzurichten. Es heiße nun die Fokaldistanz der Konvexlinse $= f$; jene der Konkavlinse $= F$, und die Fokaldistanz des aus beiden zusammengesetzten Objektives $= F'$; so gilt für diesen Fall die Formel

$$F' = \frac{fF}{F - f} \qquad (1)$$

d. h. man erhält die Fokaldistanz des doppelten Objektivs, wenn man die Fokaldistanzen beider Linsen miteinander multiplicirt, und durch ihre Differenz dividirt (§. 185).

Es sey nun das Zerstreuungsverhältniß des Spiegelglases zu jenem des Flintglases wie n : 1; so muß, wenn das Objektiv achromatisch seyn soll, sich verhalten f : F = n : 1; folglich

$$F = \frac{f}{n} \qquad (2)$$

Setzt man aber diesen Werth für das F in der Formel (1); so ergibt sich

$$f = (1 - n)\, F' \qquad (3)$$

d. h. die Fokaldistanz der Konvexlinse des achromatischen Objektivs wird gefunden, wenn man die Zahl des Zerstreuungsverhältnisses von 1 abzieht, und den Rest mit der gegebenen Fokallänge des Objektivs multiplicirt. Wenn man nun nach Formel (2) diese gefundene Fokallänge durch die Verhältnißzahl der Zerstreuung dividirt; so erhält man auch die Fokallänge der konkaven oder Flintglaslinse.

Z. B. Die angenommene Fokallänge des Objektivs oder F′ sey = 10 Zoll, das Zerstreuungsverhältniß sey = 0.683; so ist die Fokallänge des Konvexglases = (1 — 0.683) × 10 = 3.17 Zoll, und jene der Konkavlinse $= \frac{3.17}{0.683} = 4.64$ Zoll. Die Krümmungen der einzelnen Flächen dieser beiden Linsen mögen nun zu was immer für Halbmesser gehören, wenn nur jede Linse die eben berechnete Fokaldistanz hat; so ist das Objektiv achromatisch.

Aufhebung der sphärischen Abweichung an diesen Objektiven.

§. 96. Wäre daher bei einem vollkommenen Objektivglase nur allein diese Abweichung wegen der Farben zu beseitigen; so würde die Rechnung sehr leicht seyn. Allein es kommt hier auch noch die sphärische Abweichung zu berücksichtigen (§. 68). Diese ist bei einem einfachen Objektivglase von großer Brennweite und geringer Oeffnung im Verhältnisse der chromatischen Abweichung zwar gering, allein bei der, verhältnißmäßig zur Oeffnung, kurzen Brennweite achromatischer Objektive wäre diese Abweichung empfindlich, da die Undeutlichkeit aus derselben in dem verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Fokaldistanz zunimmt. (§. 73.) Ein Objektiv, das durch die richtige Herstellung der Fokaldistanzen beider Linsen nach dem Verhältnisse des Zerstreuungsvermögens zwar so viel möglich achromatisch hergestellt ist, bei welchem aber noch ein bedeutender Theil der sphärischen Abweichung Statt findet, entwirft noch immer ein unvollkommenes, undeutliches Bild, wenn die Fokallänge desselben nicht sehr groß genommen wird, oder nur eine geringe Vergrößerung durch das Okular Statt findet: der Gegenstand erhält ein nebliches, sogenanntes milchigtes Ansehen. Die Benennung achromatisch (farbenlos) ist daher für ein vollkommenes Objektiv nicht genau bezeichnend, und man nennt daher auch mit mehr Bestimmtheit solche Objektive, bei denen also beide Arten der Abweichung, so viel möglich gehoben sind, aplanatisch.

Es sind bereits oben Beispiele angegeben worden, wie beide Abweichungen sich gegen einander verhalten. Bei einer Linse von 4 Zoll Oeffnung und 50 Zoll Fokaldistanz ist der Durchmesser des Kreises der sphärischen Abweichung = 0.0330 Linien (§. 73). Für dieselbe Oeffnung ist der Durchmesser des

Kreises der chromatischen Abweichung = 0.8148 Linien (§. 86). Also ist der Raum, in welchen die aus einem Punkte kommenden Strahlen zerstreut werden, ein Kreis, dessen Durchmesser = 0.8478 Linien beträgt. Eine andere Linse von demselben Brechungsvermögen (1.53), aber von 10 Zoll Fokaldistanz, habe gleichfalls 4 Zoll Oeffnung, so ist der Durchmesser des sphärischen Abweichungskreises = 0.7583 Linien, und jener des chromatischen Abweichungskreises = 0.8148 Linien. In diesem Falle sind also beide Kreise schon beinahe einander gleich. Durch den ersten Abweichungskreis wird hier jedoch die Undeutlichkeit bedeutender vermehrt, als durch den letzteren, weil in letzterem das Licht gegen den Rand sehr abnimmt, in dem ersteren aber gegen den Rand zu immer dichter wird.

§. 97. Glücklicherweise dient dieselbe Einrichtung der entgegengesetzten Brechungen, welche die chromatische Abweichung korrigirt, auch zur Korrektion der Abweichung wegen der Kugelgestalt. Aus der Betrachtung dieser sphärischen Abweichung an der Konvex- und einer Konkavlinse, die das achromatische Objektiv ausmachen, läßt sich ohne Schwierigkeit einsehen, daß in diesen entgegengesetzt geformten Gläsern die sphärischen Abweichungen einander entgegenwirken. Denn auch in dem Konkavglase werden für die weiter von der Axe entfernt einfallenden Strahlen die brechenden Winkel (der zu diesen Punkten gehörigen Prismen) größer, folglich auch die Brechung von diesen Punkten: Da nun diese Konkavlinsen die parallel einfallenden Strahlen bei dem Austritte von der Axe ablenken, und zwar um so mehr, je weiter von der Axe entfernt sie gebrochen werden; während bei dem Konvexglase aus demselben Grunde eben diese entfernteren Strahlen durch die Brechung stärker nach der Axe hingelenkt werden; so läßt sich leicht einsehen, daß durch eine angemessene Einrichtung der Krümmungen der Kon-

vex- und der Konkavlinse diese beiden Brechungen sich so werden kompensiren müssen, daß die sphärische Abweichung der einen dazu dient, um jene der anderen aufzuheben (§. 74).

Die beiden Figuren XVIII und XIX machen dieses deutlich. Wenn wir annehmen, daß in Figur XIX die konvergenten Strahlen aus einer vor der konkaven befindlichen konvexen Linse kommen, so wird die Abweichung der Strahlen, die durch diese Linse gehen, nicht wie in Figur XVIII Statt finden, weil die Strahlen pp, welche die Konvexlinse in den Punkt i zu bringen sucht, durch die Wirkung der Konkavlinse sich in dem Punkte f zu vereinigen streben, und eben so die Strahlen qq', welche von der Konvexlinse in den Punkt f gebracht würden, von der Konkavlinse eine Tendenz erhalten, sich in dem Punkte i zu vereinigen. Sind also beide Tendenzen gleich, oder mit andern Worten, ist bei der Konkavlinse die Abweichung eben so groß, als bei der Konvexlinse; so werden sich die Strahlen weder in dem Punkte f noch in dem Punkte i vereinigen können, sondern in einem mittleren Punkte zwischen denselben zusammen kommen, d. h. die Abweichung wird aufgehoben seyn, da der Durchmesser des Abweichungskreises hh' in diesem Falle verschwindet. Nun haben wir oben gesehen, daß die Größe der Abweichung einer Linse von demselben Glase durch die Veränderung der Krümmungshalbmesser ihrer Flächen bei gleicher Fokaldistanz verschiedentlich verändert werden kann; folglich kann auch für jeden Fall für beide Linsen des Objektivs durch das gehörige Verhältniß der Krümmungshalbmesser die Gleichheit der entgegengesetzten sphärischen Abweichungen hergestellt werden, ohne an ihren Fokaldistanzen, deren Verhältniß die Achromatizität begründet, etwas zu ändern.

§. 98. So wie also bei der Korrektion der prismatischen Abweichung das Verhältniß der Fokaldistanzen, welche

in dem Verhältnisse der Zerstreuungskräfte genommen werden, die erste Unvollkommenheit des Objektives beseitigt; so ist das Verhältniß der Krümmungshalbmesser der beiden Linsen, so berechnet, daß sie wechselseitig die sphärische Abweichung aufheben, das Heilmittel für die zweite Unvollkommenheit.

Uebrigens ist auch diese Abweichung eben so wenig vollkommen aufzuheben, als die chromatische, weil, wenn auch die Strahlen am Rande und gegen die Axe an einem zusammengesetzten Objektiv in einem Punkte sich vereinigen lassen, dieses doch bei den dazwischen liegenden nicht völlig der Fall ist, obgleich auch hier der Fehler nicht bedeutend ist. Der Grund dieser Unvollkommenheit liegt darin, daß die Krümmungshalbmesser, welche den Fehler der sphärischen Figur rücksichtlich der auf die Linse in einer bestimmten Entfernung vom Mittelpunkte seiner Oeffnung einfallenden Strahlen aufheben, nicht auch genau eben diesen Fehler rücksichtlich der in einer andern Entfernung auffallenden Strahlen destruiren. Wenn also durch das Verhältniß der Krümmungshalbmesser die sphärische Abweichung für die am Rande des Objektivs einfallenden Strahlen aufgehoben ist: so vereinigen sich zwar die Strahlen am Rande und an den von demselben etwas weiter ab gegen den Mittelpunkt, und eben so jene im Mittelpunkt und in den etwas weiter ab gegen den Rand liegenden Stellen, in demselben Punkte; für die zwischen beiden, als in der Mitte zwischen dem Mittelpunkt und dem Rande liegenden, Stellen ist jedoch die sphärische Abweichung der Strahlen noch nicht aufgehoben.

Berechnung der Krümmungshalbmesser der aplanatischen Objektive.

§. 99. Die mathematische Entwickelung der Formeln zur Berechnung der Krümmungshalbmesser für die Flächen der beiden Linsen des Objektivs, um diese sphärische Abweichung zu beseitigen, ist schwierig und komplicirt, und selbst das Rechnen nach diesen Formeln für die einzelnen Fälle zur Verfertigung dieser Objektive ist weitläufig und keine Sache für diejenigen, welche nicht an ähnliche mathematische Operationen gewohnt sind. Um die Resultate dieser schwierigen Untersuchungen den Künstlern brauchbar zu machen, bleibt daher nichts übrig, als die nach den Formeln berechneten Werthe in eine Tabelle zu bringen, und für die einzelnen Fälle auf eine leichte Art zu interpoliren.

§. 100. Herr J. F. W. Herschel in London hat in der neueren Zeit sich um die Bearbeitung dieses Gegenstandes verdient gemacht. Er hat die Theorie der Achromaten einer neuen Berechnung unterworfen*), bei welcher nicht nur die sphärische Abweichung für die Parallelstrahlen aufgehoben ist, sondern auch für die von näheren Gegenständen divergent auslaufenden, so daß ein solcher Achromat sowohl für terrestrische als himmlische Gegenstände gleich vollkommen ist. Nach der auf diese Berechnung gegründeten Konstruktionsart des doppelten Objectivs ist das dem Objekte zugekehrte Glas die Doppelkonvexlinse von Spiegelglas mit ungleichen Krümmungen, so daß die flächere nach auswärts gekehrt ist; die hintere Linse von Flintglas ist konkav-konvex, mit der konkaven Seite gegen die

---

*) Transactions of the roy. soc. for. 1821. p. II p. 222. Edinburgh philos. Journal Vol. VI. p. 361.

hintere oder stärker konvexe Seite der Spiegelglaslinse gekehrt: die beiden äußern Flächen dieses Doppelobjektivs sind daher konvex. Diese Konstruktionsart stimmt mit derjenigen überein, welche der berühmte Fraunhofer in München seinen Achromaten gegeben hat; und wir werden in der Folge sehen, daß die Formeln, nach welchen Herr Herschel die Krümmungshalbmesser der beiden Linsen des Objektivs berechnet hat, eben dieselben sind, welche der Berechnung der achromatischen Objective des sel. Fraunhofer zu Grunde liegen. Diese Konstruktionsart hat den Vortheil, daß die Krümmungen der Flächen nur mäßig werden, was der Aufhebung der sphärischen Abweichung immer zuträglich ist, und daß die Krümmungen der zwei äußern Flächen des doppelten Objektivs von einer gegebenen Fokallänge sich in sehr engen Gränzen ändern, bei was immer für einer Aenderung der gewöhnlichen Brechungs- und Zerstreuungskräfte.

§. 101. Aus dem letzteren Umstande hat Herr Herschel eine sehr einfache praktische Regel abgeleitet, die in gewöhnlichen Fällen anwendbar ist, und die Berechnung der Krümmungen sehr erleichtert. Sie ist folgende:

Ein dopeltes Objektivglas von der angegebenen Konstruktion ist nahe frei von Abweichung, wenn der Halbmesser der äußern Fläche der Spiegelglaslinse = 6.72, und jener der Flintglaslinse = 14.2 bei der kombinirten Fokallänge des Objektivs = 10 gemacht wird, und die Krümmungshalbmesser der beiden innern Flächen so berechnet werden, daß die Fokallängen der beiden Gläser im Verhältnisse ihrer Zerstreuungskräfte stehen.

§. 102. Mit Hülfe dieser Regel wird die Berechnung ei-

nes achromatischen Objektivs sehr einfach, und da dieselbe für solche Objektive von geringen Dimensionen Genauigkeit genug gewährt: so wollen wir nach derselben, zur Anleitung, wie die weitere Rechnung in der Folge zu führen sey, ein Beyspiel berechnen, wobei sich zugleich der Unterschied in der Genauigkeit dieser und der später nachfolgenden schärfern Methode ergeben wird.

Es sey die gegebene Fokallänge = 10, das Zerstreuungsverhältniß der beiden Gläser = 0.683; der Brechungsinder für das Spiegelglas = 1.528; und jener des Flintglases = 1.601.

Zuerst werden die Fokaldistanzen der beiden Linsen des zu bestimmenden Objektivglases nach der Formel (2) und (3), §. 95 bestimmt: es ist also, wie schon dort berechnet worden, die Fokallänge der Konvexlinse = 3.17 Zoll, und die Fokallänge der Konkavlinse = 4.64 Zoll.

Nach der obigen Regel ist nun ferner der Halbmesser der äußern Fläche der Konvexlinse = 6.72; hiernach ist nach der Formel VII der Halbmesser der hinteren Fläche dieser Linse, oder

$$r = \frac{paR}{R - pa} = \frac{3.17 \times 0.528 \times 6.72}{6.72 - 3.17 \times 0.528}$$

$$= \frac{11.2224}{5.05} = 2.22$$

Ferner ist nach der obigen Regel der Halbmesser der zweiten Fläche der konvex-konkaven Linse = 14,2; hiernach ist nach der Formel (XXX) der Halbmesser der vordern oder Konkavfläche dieser Linse, oder

$$r = \frac{paR}{R + pa} = \frac{4.64 \times 0.601 \times 14.2}{14.2 + 4.64 \times 0.601}$$

$$= \frac{39.5896}{16.99} = 2.33.$$

Sonach sind die Krümmungshalbmesser für die vier Flächen des Objektivglases von 10 Zoll Fokallänge, folgende:

Spiegelglaslinse { Halbmesser der ersten Fläche (konvex) = 6.72 Zoll
— — — zweiten — — = 2.22 —

Flintglaslinse { Halbmesser der dritten Fläche (konkav) = 2.33 —
— — — vierten — (konvex) = 14.20 —

Auf diese Art wird für das zu bestimmende Objektiv immer die Fokallänge von 10 Zoll angenommen, und die Halbmesser der Flächen werden hiernach bestimmt. Um die gefundenen Krümmungshalbmesser für eine gegebene Fokallänge zu reduciren, braucht man sie nur im Verhältniß der letzteren zu nehmen. Gesetzt die Fokallänge, für welche das Objektiv hergestellt werden soll, sey 46 Zoll, so ist

10 : 46 = 6.72 : 30.912 Halbmesser der ersten Fläche
10 : 46 = 2.22 : 10.212 — der zweiten —
10 : 46 = 2.33 : 10.718 — der dritten —
10 : 46 = 14.20 : 65.320 — der vierten —

Es ist hiernach nichts weiter nöthig, als den Schleifschalen genau die diesen Halbmessern zugehörenden Krümmungen zu geben, und das Schleifen der Gläser in denselben mit Genauigkeit zu bewirken.

§. 103. Die oben (§. 101) angegebene Regel, auf welche sich die vorstehende Rechnung gründet, ist für die gewöhnlichen Fälle für kleinere Objektive bis zu höchstens 16 Linien Oeffnung, zwar hinlänglich genau, aber bei Objektivgläsern von größerem Werthe und Durchmesser müssen die Halbmesser ihrer Linsenflächen genauer berechnet werden. Folgende Tafel enthält z. B. für ein bestimmtes Brechungsvermögen des Spiegel- und Flintglases, und für einige Zerstreuungsverhältnisse innerhalb der äußersten Gränzen die nach der genauen Formel berechneten

Werthe der vier Krümmungshalbmesser für die Fokallänge des Objektivglases = 10.000

Brechungsindex der Spiegelglaslinse = 1·524
Brechungsindex der Flintglaslinse = 1·585

Zerstreuungsverhältniß.	Konvexlinse.		Konvexkonkavlinse.		Fokallänge der Konvexlinse.	Fokallänge der Konvexkonkavlinse.
	Halbmesser der ersten Fläche.	Halbmesser der zweiten Fläche.	Halbmesser der ersten Fläche.	Halbmesser der zweiten Fläche.		
0·50	6·7485	4·2827	4·1575	14·3697	5·0	10·0000
0·55	6·7184	3·6332	3.6006	14·5353	4·5	8·1818
0·60	6·7069	3·0488	3·0640	14·2937	4·0	6·6667
0·65	6·7316	2·5208	2·5566	13·5709	3·5	5·3846
0·70	6·8279	2·0422	2.0831	12·3154	3·0	4·2858
0·75	6·0816	1·6073	1.6450	10.5186	2·5	3·3333

§. 104. Herr Herschel hat diese Tafel sammt den zur Interpolirung der Zwischenglieder für verschiedene Brechungsvermögen erforderlichen Proportionaltheilen mitgetheilt. Um die Rechnung noch mehr zu erleichtern, hat Herr Barlow *) diese Tafel durch Einschaltung aller Zwischenglieder sehr erweitert, so daß dadurch auch zur Erhaltung eines ganz genauen Resultats die Berechnung leicht und einfach wird. Diese Tafel ist die nachstehende. Sie dient, die Krümmungshalbmesser der ersten und der vierten Fläche des doppelten Objektivs, welche weniger genau durch die obige Regel angegeben worden sind, für jedes vorkommende Zerstreuungsverhältniß und für den gegebenen Brechungsindex genau zu finden.

*) Edinburgh philos. Journ. April 1826.

Tafel

der Krümmungshalbmesser der ersten und vierten Fläche des Objectivglases für verschiedene Zerstreuungsverhältnisse, und für den Brechungsindex des Spiegelglases zu 1.524, und des Flintglases zu 1.585, mit den Korrektionen für andere Indices.

Zerstreuungsverhältniß.	Erste Fläche.			Vierte Fläche.		
	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasindex.	Korrektion des Flintglasindex.	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasindex.	Korrektion des Flintglasindex.
·550	6·7185	+7·40	— ·110	14·5353	+100·80	—50·33
·551	6·7182	+7·39	— ·100	14·5303	+100·99	—50·45
·552	6·7179	+7·37	— ·090	14·5253	+101·18	—50·58
·553	6·7176	+7·36	— ·080	14·5203	+101·37	—50·70
·554	6·7173	+7·34	— ·071	14·5153	+101·57	—50·83
·555	6·7170	+7·33	— ·062	14·5103	+101·77	—50·95
·556	6·7167	+7·31	— ·052	14·5053	+101·96	—51·08
·557	6·7164	+7·30	— ·042	14·5003	+102·15	—51·21
·558	6·7161	+7·28	— ·032	14·4953	+102·34	—51·33
·559	6·7158	+7·27	— ·023	14·4905	+102·54	—51·45
·560	6·7155	+7·25	— ·014	14·4857	+102·74	—51·58
·561	6·7152	+7·24	— ·004	14·4809	+102·93	—51·70
·562	6·7149	+7·22	+ ·006	14·4761	+103·12	—51·83
·563	6·7146	+7·21	+ ·016	14·4713	+103·31	—51·95
·564	6·7143	+7·19	+ ·025	14·4665	+103·51	—52·08
·565	6·7140	+7·18	+ ·034	14·4617	+103·71	—52·20
·566	6·7137	+7·16	+ ·044	14·4569	+103·90	—52·33
·567	6·7135	+7·15	+ ·054	14·4521	+104·09	—52·45
·568	6·7133	+7·13	+ ·064	14·4473	+104·28	—52·58
·569	6·7131	+7·12	+ ·073	14·4425	+104·48	—52·70
·570	6·7129	+7·10	+ ·082	14·4377	+104·68	—52·83
·571	6·7127	+7·09	+ ·092	14·4329	+104·87	—52·95
·572	6·7125	+7·07	+ ·102	14·4281	+105·06	—53·08
·573	6·7123	+7·06	+ ·112	14·4233	+105·25	—53·20
1	2	3	4	5	6	7

Zerstreuungsverhältniß.	Erste Fläche.			Vierte Fläche.		
	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasinder.	Korrektion des Flintglasinder.	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasinder.	Korrektion des Flintglasinder.
·574	6·7121	+7·04	+ ·121	14·4185	+105·44	—53·33
·575	6·7119	+7·03	+ ·130	14·4137	+105·64	—53·45
·576	6·7117	+7·01	+ ·140	14·4089	+105·84	—53·58
·577	6·7115	+7·00	+ ·150	14·4041	+106·03	—53·70
·578	6·7113	+6·98	+ ·160	14·3993	+106·22	—53·83
·579	6·7111	+6·97	+ ·169	14·3945	+106·41	—53·95
·580	6·7109	+6·96	+ ·178	14·3897	+106·61	—54·08
·581	6·7107	+6·95	+ ·188	14·3849	+106·81	—54·20
·582	6·7105	+6·94	+ ·198	14·3801	+107·00	—54·33
·583	6·7103	+6·93	+ ·208	14·3753	+107·19	—54·45
·584	6·7101	+6·92	+ ·217	14·3705	+107·38	—54·58
·585	6·7099	+6·91	+ ·226	14·3657	+107·58	—54·70
·586	6·7097	+6·90	+ ·236	14·3609	+107·78	—54·83
·587	6·7095	+6·89	+ ·246	14·3561	+107·97	—54·95
·588	6·7093	+6·88	+ ·256	14·3513	+108·16	—55·08
·589	6·7091	+6·87	+ .265	14·3465	+108·35	—55·20
·590	6·7089	+6·86	+ ·274	14·3417	+108·54	—55·33
·591	6·7087	+6·85	+ ·284	14·3369	+108·74	—55·45
·592	6·7085	+6·84	+ ·294	14·3321	+108·94	—55·53
·593	6·7083	+6·83	+ ·304	14·3273	+109·13	—55·70
·594	6·7081	+6·82	+ ·313	14·3225	+109·32	—55·83
·595	6·7080	+6·81	+ ·322	14·3177	+109·51	—55·95
·596	6·7079	+6·80	+ ·332	14·3129	+109·71	—56·08
·597	6·7076	+6·79	+ ·342	14·3081	+109·90	—56·20
·598	6·7075	+6·78	+ ·352	14·3033	+110·09	—56·33
·599	6·7073	+6·77	+ ·361	14·2985	+110·29	—56·46
·600	6·7071	+6·76	+ ·370	14·2937	+110·49	—56·59
·601	6·7069	+6·73	+ ·388	14·2792	+110·60	—56·72
·602	6·7073	+6·71	+ ·406	14·2647	+110·71	—56·85
·603	6·7077	+6·69	+ ·424	14·2502	+110·83	—56·99
·604	6·7086	+6·67	+ ·442	14·2357	+110·94	—57·12
·605	6·7091	+6·64	+ ·460	14·2212	+110·05	—57·25
·606	6·7096	+6·62	+ ·478	14·2067	+111·17	—57·39
·607	6·7101	+6·60	+ ·495	14·1922	+111·28	—57·52
·608	6·7106	+6·58	+ ·512	14·1777	+111·39	—57·65
609	6·7111	+6·55	+ ·529	14·1632	+111·51	—57·79
1	2	3	4	5	6	7

Zerstreuungsverhältniß.	Erste Fläche.			Vierte Fläche.		
	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasindex.	Korrektion des Flintglasindex.	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasindex.	Korrektion des Flintglasindex.
·610	6·7116	+6·53	+ ·546	14·1487	+111·62	—57·92
·611	6·7121	+6·51	+ ·564	14·1342	+111·73	—58·05
·612	6·7126	+6·49	+ ·582	14·1197	+111·85	—58·19
·613	6·7131	+6·46	+ ·600	14·1052	+111·96	—58·32
·614	6·7136	+6·44	+ ·618	14·0907	+112·07	—58·45
·615	6·7141	+5·42	+ ·636	14·0762	+112·19	—58·59
·616	6·7146	+6·40	+ ·654	14·0617	+112·30	—58·72
·617	6·7151	+6·37	+ ·671	14·0472	+112·41	—58·85
·618	6·7156	+6·35	+ ·688	14·0327	+112·53	—58·99
·619	6·7161	+6·33	+ ·705	14·0182	+112·64	—59·12
·620	6·7166	+6·31	+ ·722	14·0037	+112·75	—59·25
·621	6·7171	+6·28	+ ·740	13·9892	+112·87	—59·39
·622	6·7176	+6·26	+ ·758	13·9747	+112·98	—59·52
·623	6·7181	+6·24	+ ·776	13·9602	+113·09	—59·65
·624	6·7186	+6·22	+ ·794	13·9457	+113·21	—59·79
·625	6·7191	+6·19	+ ·812	13·9312	+113·32	—59·92
·626	6·7196	+6·17	+ ·830	13·9167	+113·43	—60·05
·627	6·7201	+6·15	+ ·847	13·9022	+113·55	—60·19
·628	6·7206	+6·13	+ ·864	13·8877	+113·66	—60·32
·629	6·7211	+6·10	+ ·881	13·8733	+113·77	—60·45
·630	6·7216	+6·08	+ ·898	13·8589	+113·89	—60·59
·631	6·7221	+6·06	+ ·916	13·8445	+114·00	—60·72
·632	6·7226	+6·04	+ ·934	13·8301	+114·11	—60·85
·633	6·7231	+6·01	+ ·952	13·8157	+114·23	—60·99
·634	6·7236	+5·99	+ ·970	13·8013	+114·34	—61·12
·635	6·7241	+5·97	+ ·988	13·7869	+114·45	—61·25
·636	6·7246	+5·95	+1·006	13·7725	+114·57	—61·39
·637	6·7251	+5·92	+1·023	13·7581	+114·68	—61·52
·638	6·7256	+5·89	+1·040	13·7437	+114·79	—61·65
·639	6·7261	+5·87	+1·057	13·7393	+114·91	—61·79
·640	6·7266	+5·85	+1·074	13·7249	+115·02	—61·92
·641	6·7271	+5·83	+1·092	13·7105	+115·13	—62·05
·642	6·7276	+5·80	+1·110	13·6961	+115·25	—62·19
·643	6·7281	+5·78	+1·128	13·6817	+115·36	—62·32
·644	6·7286	+5·76	+1·146	13·6673	+115·47	—62·45
·645	6·7291	+5·74	+1·164	13·6429	+115·58	—62·58
1	2	3	4	5	6	7

Zerstreuungsverhältniß.	Erste Fläche.			Vierte Fläche.		
	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasindex.	Korrektion des Flintglasindex.	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasindex.	Korrektion des Flintglasindex.
·646	6·7296	+5·71	+1·182	13·6285	+115·69	—62·71
·647	6·7301	+5·69	+1·199	13·6141	+115·80	—62·84
·648	6·7306	+5·67	+1·216	13·5997	+115·91	—62·97
·649	6·7311	+5·65	+1·223	13·5853	+116·02	—63·10
·650	6·7316	+5·63	+1·25	13·5709	+116·14	—63·23
·651	6·7336	+5·58	+1·29	13·5457	+116·14	—63·47
·652	6·7356	+5·53	+1·32	13·5205	+116·14	—63·71
·653	6·7376	+5·48	+1·36	13·4953	+116·14	—63·95
·654	6·7396	+5·44	+1·39	13·4701	+116·14	—64·19
·655	6·7416	+5·39	+1·43	13·4449	+116·14	—64·44
·656	6·7436	+5·35	+1·46	13·4197	+116·14	—64·69
·657	6·7456	+5.30	+1·50	13·3945	+116·14	—64·94
·658	6·7476	+5·26	+1·53	13·3693	+116·14	—65·19
·659	6·7496	+5·21	+1·57	13·3441	+116·14	—65·44
·660	6·7516	+5·17	+1·60	13·3189	+116·14	—65·69
·661	6·7536	+5·12	+1·64	13·2937	+116·14	—65·94
·662	6·7556	+5·08	+1·68	13·2685	+116·14	—66·19
·663	6·7576	+5·03	+1·71	13·2433	+116·14	—66·44
·664	6·7595	+4·99	+1·74	13·2185	+116·14	—66·69
·665	6·7614	+4·95	+1·78	13·1912	+116·14	—66·94
·666	6·7633	+4·90	+1·81	13·1683	+116·14	—67·19
·667	6·7652	+4·86	+1·85	13·1433	+116·14	—67·44
·668	6·7671	+4·81	+1·89	13·1183	+116·14	—67·69
·669	6·7690	+4·77	+1·92	13·0933	+116·14	—67·94
·670	6·7709	+4·72	+1·96	13·0683	+116·14	—68·19
·671	6·7728	+4·68	+1·99	13·0433	+116·14	—68·44
·672	6·7747	+4·63	+2·03	13·0183	+116·14	—68·69
·673	6·7766	+4·59	+2·06	12·9933	+116·14	—68·94
·674	6·7785	+4·54	+2·09	12·9683	+116·14	—69·19
·675	6·7804	+4·50	+2·13	12·9431	+116·14	—69·44
·676	6·7823	+4·45	+2·17	12·9179	+116·14	—69·69
·677	6·7842	+4·41	+2·21	12·8928	+116·14	—69·94
·678	6·7861	+4·36	+2·25	12·8677	+116·14	—70·19
·679	6·7880	+4·32	+2·29	12·8426	+116·14	—70·44
·680	6·7899	+4·27	+2·33	12·8175	+116·14	—70·69
·681	6·7918	+4·23	+2·37	12·7924	+116·14	—70·94
1	2	3	4	5	6	7

Zerstreuungsverhältniß.	Erste Fläche.			Vierte Fläche.		
	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasinder.	Korrektion des Flintglasinder.	Krümmungshalbmesser.	Korrektion des Spiegelglasinder.	Korrektion des Flintglasinder.
·682	6·7937	+4·18	+2·41	12·7673	+116·14	—71·19
·683	6·7956	+4·14	+2·45	12·7423	+116·14	—71·44
·684	6·7975	+4·09	+2·49	12·7171	+116·14	—71·69
·685	6·7994	+4·05	+2·53	12·6920	+116·14	—71·94
·686	6·8013	+4·00	+2·57	12·6669	+116·14	—72·19
·687	6·8032	+3·96	+2·61	12·6418	+116·14	—72·44
·688	6·8051	+3·91	+2·65	12·6167	+116·14	—72·69
·689	6·8070	+3·87	+2·70	12·5916	+116·14	—72·94
·690	6·8089	+3·82	+2·74	12·5665	+116·14	—73·19
·691	6·8108	+3·78	+2·78	12·5414	+116·14	—73·44
·692	6·8127	+3·73	+2·82	12·5163	+116·14	—73·69
·693	6·8146	+3·69	+2·86	12·4912	+116·14	—73·94
·694	6·8165	+3·64	+2·90	12·4661	+116·14	—74·19
·695	6·8184	+3·60	+2·94	12·4410	+116·14	—74·44
·696	6·8203	+3·55	+2·98	12·4159	+116·14	—74·69
·697	6·8222	+3·51	+3·02	12·3908	+116·14	—74·94
·698	6·8241	+3·46	+3·06	12·3657	+116·14	—75·19
·699	6·8260	+3·41	+3·09	12·3406	+116·14	—75·44
·700	6·8279	+3·35	+3·12	12·3154	+116·14	—75·70
1	2	3	4	5	6	7

§. 105. Der Gebrauch dieser Tafel ist folgender. Ist der Brechungsinder der beiden Gläser jener in der Tafel angenommene, nämlich für das Spiegelglas = 1.524, für das Flintglas = 1.585; so gibt die Tafel für das vorhandene Zerstreuungsverhältniß unmittelbar die Halbmesser der ersten und vierten Fläche. Haben dagegen die beiden Gläser, aus denen das Objektiv bestehen soll, nicht genau jene beiden Brechungsindices, so müssen die in der Tafel angegebenen Halbmesser auf folgende Art korrigirt werden, und zwar

I) für die Spiegelglaslinse. 1) Man zieht von dem

gegebenen Index der Spiegelglaslinse den Index der Tafel 1.524 ab, und multiplicirt diese Differenz (die das Zeichen + oder — erhält, je nachdem der gegebene Index größer oder kleiner ist, als der Index der Tafel) mit der Korrektionszahl in der dritten Columne, die dem in der ersten Columne angegebenen Zerstreuungsverhältnisse entspricht.

2) Hierauf zieht man von dem gegebenen Index der Flintglaslinse jenen der Tafel 1.585 ab, multiplicirt mit dieser Differenz, welche wie vorher positiv oder negativ wird, die Korrektionszahl der vierten Columne.

3) Dann addirt man beide Produkte zusammen, wenn sie gleiche Zeichen haben, oder man subtrahirt sie bei entgegengesetzten Zeichen, nach bekannter Weise.

4) Endlich wird diese Summe oder Differenz zu dem in der zweiten Columne der Tafel gefundenen Halbmesser addirt, oder von demselben subtrahirt, je nachdem das Zeichen + oder — vorhanden ist; so ist diese Summe oder Differenz der korrigirte Halbmesser für die erste Fläche der Spiegelglaslinse.

II) Für die Flintglaslinse verfährt man ganz auf dieselbe Weise mit Anwendung der fünften, sechsten und siebenten Columne. Es wird nähmlich die in 1) gefundene Differenz mit der Korrektionszahl in der sechsten Columne multiplicirt; eben so die in 2) gefundene Differenz mit der Korrektionszahl in der siebenten Columne multiplicirt; dann wie in 3) beide Produkte addirt oder subtrahirt, endlich wie in 4) diese Summe oder Differenz zu dem in der fünften Columne der Tafel gefundenen Halbmesser addirt oder subtrahirt; so gibt diese Summe oder Differenz den Halbmesser der vierten Fläche des Objektivs oder der zweiten Fläche der Flintglaslinse.

§. 106. Beispiel. Es sey, wie oben §. 102, die gegebene Fokallänge des Objektivglases = 10, das Zerstreuungsverhältniß der beiden Gläser = 0.683; der Brechungsinder des Spiegelglas, aus welchem die Konvexlinse besteht, = 1.528, und jener des Flintglas, aus welchem die Konkavlinse besteht, = 1.601.

Korrektion für die erste Fläche.

1) Von dem gegebenen Index		1.528
abgezogen der Index der Tafel		1.524
Differenz	=	+ 0.004
die Korrektionszahl . .		+ 4.14
multiplicirt mit . . .		+ 0.004
gibt		0.01656
2) Von dem gegebenen Index		1.601
abgezogen der Index der Tafel		1.585
Differenz . . .	=	+ 0.016
die Korrektionszahl . .		+ 2.45
multiplicirt mit . .		+ 0.016
gibt		+ 0.03920
3) dazu addirt . . .		+ 0.01656
Summe		+ 0.05576 =
4) dazu der Halbmesser in der Tafel		+ 6.7956
		6.8514 = korrigirter

Halbmesser der ersten Fläche.

=

Korrektion für die vierte Fläche.

1) Die Korrektionszahl . .		+ 116.14
multiplicirt mit . . .		+ 0.004
gibt		0.46456

2) Die Korrektionszahl . . = — 71.69
multiplicirt mit . . 0.016
gibt . . . . — 1.14704
3) dazu . . . . + 0.46456
Differenz . . . . = — 0.68248

4) dazu der Halbmesser in der
Tafel . . . . + 12.7422
12.0597 = korrigirter Halbmesser der vierten Fläche.

Auf diese Art erhält man also aus der Tafel für die gegebenen Brechungsindices und das gegebene Zerstreuungsverhältniß die Krümmungshalbmesser der ersten und der vierten Fläche; und die Halbmesser für die zweite und dritte Fläche des Objektivglases werden nun ganz auf dieselbe Weise gefunden, wie bereits oben §. 102 angegeben worden. Es ist nämlich für das vorige Beispiel der Halbmesser der zweiten Fläche

$$= \frac{3.17 \times 0.528 \times 6.85}{6.85 - 3.17 \times 0.528}$$

$$= \frac{11.4627}{5.17} = 2.22 \text{ Zoll.}$$

ferner ist der Halbmesser der dritten Fläche

$$= \frac{4.64 \times 0.601 \times 12.059}{12.059 + 4.64 \times 0.601}$$

$$= \frac{33.6233}{14.848} = 2.26 \text{ Zoll.}$$

Folglich sind für die Fokallänge von 10 Zoll der

Halbmesser der ersten konvexen Fläche = 6.85 Zoll
= = = zweiten = = = = 2.22 =
= = = dritten konkaven = = 2.26 =
= = = vierten konvexen = = 12.060 =

Für die erlangte Fokallänge von 46 Zoll, braucht man

daher nur diese Zahlen mit $\frac{46}{10}$ zu multipliciren (§. 102), so erhält man für den

Halbmesser der ersten Fläche (konvex) = 31.510 Zoll
= = = zweiten = (konvex) = 10.212 =
= = = dritten = (konkav) = 10.396 =
= = = vierten = (konvex) = 55.476 =

§. 107. Wir wollen nun noch für ein zweites Beispiel die ganze Rechnung der Ordnung nach zusammenstellen.

Es soll ein Objektivglas von 6 Fuß Brennweite berechnet werden, von welchem das Spiegelglas den Brechungsinder = 1.515, und das Flintglas = 1.671 hat, das Zerstreuungsverhältniß beider Gläser aber = 0.613 ist.

I. Zuvörderst findet man die Fokaldistanzen der beiden Linsen für die Fokallänge des zusammengesetzten Objektivs von 10 Zoll nach §. 95. Hiernach ist die Fokallänge der Konvexlinse

$$= (1 - 0.613) \times 10$$
$$= 0.387 \times 10 = 3.87 \text{ Zoll.}$$

und die Fokallänge der konvex-konkav Linse

$$= \frac{3.87}{0.613} = 6.31 \text{ Zoll.}$$

II. Nun werden aus der Tafel die Krümmungshalbmesser der ersten und vierten Fläche gefunden, nach §. 105, und zwar

für die erste Fläche:

Gegebener Inder . . .	=	1.515 } Spiegelglas
abgezogen der Inder in der Tafel	=	1.524 } Spiegelglas
Differenz	—	0.009
Korrektionszahl	+	6.46
multiplicirt	—	0.009
	—	0.05814

gegebener Index . . .	=	1.671 } Flintglas
abgezogen der Index der Tafel .	=	1.585 } Flintglas
Differenz	+	0.086
die Korrektionszahl . .	+	0.600
multiplicirt	+	0.086
	+	0.05160
dazu addirt	—	0.05814
	—	0.00654
dazu der Halbmesser in der Tafel	+	6.71310

6.70656 Zoll = korrigirter Halbmesser der ersten Fläche.

Für die vierte Fläche.

+	111.96	—	58.32	
—	0.009 } Spiegelglas	+	0.086 } Flintglas	
—	1.00764 } Spiegelglas	—	5.01552 } Flintglas	
—	5.01552			
—	6.02316			
	14.10520			

8.08204 Zoll, = korrigirter Halbmesser der vierten Fläche.

III. Nun werden aus diesen beiden Halbmessern nach §. 102 die Halbmesser der zweiten und dritten Fläche gefunden, nämlich es ist der Halbmesser der zweiten Fläche

$$= \frac{3.87 \times 0.515 \times 6.7065}{6.7065 - 3.87 \times 0.515}$$

$$= \frac{13.365058}{4.713} = 2.836 \text{ Zoll.}$$

und der Halbmesser der dritten Fläche

$$= \frac{6.31 \times 0.671 \times 8.082}{8.082 \times 6.31 \times 0.671}$$

$$= \frac{34.219188}{12.316} = 2.778 \text{ Zoll.}$$

IV. Folglich sind für die angenommene Fokallänge von 10 Zoll die

Krümmungshalbmesser der ersten Fläche = 6.706
= = = = zweiten = = 2.836
= = = = dritten = = 2.778
= = = = vierten = = 8.082

Da nun die Fokaldistanz des Objektivglases 6 Fuß = 72 Zoll betragen soll, so multiplicirt man den vorstehenden Halbmesser mit $\frac{72}{10}$, und erhält sonach:

für die erste Fläche (konvex) = 48.283 Zoll
= = zweite = (konvex) = 20.819 =
= = dritte = (konkav) = 20.000 =
= = vierte = (konvex) = 58.190 =

§. 108. Man sieht aus diesen Beispielen, so wie aus der oben §. 103 mitgetheilten Tafel, daß die Halbmesser der inneren Flächen, welche einander gegenüber zu stehen kommen, zwar verschieden sind, aber wenig von einander abweichen. Man kann zwar diese Halbmesser der zweiten und dritten Fläche einander gleich machen, indem man für dieselbe Fokallänge des Objektivs und der Flintlinse, und unter der Annahme, daß die dritte Fläche der zweiten gleich seyn soll, die vierte Fläche ändert. Allein diese Abänderung bringt immer einige Unrichtigkeit in der Ausgleichung der sphärischen Abweichung hervor, und es ist, zumal bei größeren Objektiven, immer besser, sich genau an die berechneten Radien zu halten, damit man die ohnehin unvermeidlichen Fehler nicht noch durch solche vermehre, welche vermieden werden können. Das Aneinanderfügen der beiden innern Flächen von ungleichem Halbmesser hat übrigens keine praktische Schwierigkeit. Die beiden Linsen werden in diesem Falle durch drei dünne Stanniolplättchen, die an dem Rande in gleichen Entfernungen eingelegt werden, so auseinander ge-

halten, daß sie einander in der Mitte nicht berühren, wovon noch in der Folge die Rede ist.

Will man aber für gewöhnliche Fälle die Halbmesser der dritten und vierten Fläche gleich machen, um dieselben in Schalen von gleicher Krümmung schleifen zu können, so rechnet man auf folgende Art. In dem ersten Beispiele (§. 106) soll also der Halbmesser der dritten Fläche gleichfalls = 10.212 Zoll werden, wie jener der zweiten Fläche. Die Flächen der Konvexlinse bleiben also ungeändert, und nur die vierte Fläche oder die zweite der Flintlinse muß noch so geändert werden, daß die Fokallänge dieser Linse ungeändert bleibt. Da hier der Halbmesser der konkaven Fläche r gegeben ist, so gilt nach (XXX) die Formel

$$R = \frac{par}{pa - r}$$

Es ist also

$$R = \frac{4.64 \times 0.601 \times 2.22}{2.788 - 2.22}$$

$$= \frac{6.19047}{0.568} = 10.896 =$$

der Halbmesser für die vierte Fläche für 10 Zoll Fokaldistanz des Objektivs; daher für die Fokallänge von 46 Zoll =

$$10.896 \times \frac{46}{10} = 50.13 \text{ Zoll.}$$

Mit dieser Aenderung werden daher für das in §. 106 enthaltene Beispiel die Krümmungshalbmesser folgende:

für die erste Fläche = 31.510 Zoll
= = zweite = = 10.212 =
= = dritte = = 10.212 =
= = vierte = = 50.130 =

§. 109. Für die praktische Ausführung ist es ferner eine Erleichterung, die Halbmesser dieser zwei inneren Flächen so

zu nehmen, daß man die bereits vorhandenen Schleifschalen, deren Halbmesser sich jenen am meisten nähert, gebrauchen kann. In diesem Falle ist nichts weiter nöthig, als alle Halbmesser in demselben Verhältnisse zu ändern. Gesetzt man habe Schleifschalen von 10 Zoll Krümmungshalbmesser, so kann man in dem vorstehenden Beispiele die Halbmesser der zweiten und dritten Fläche zu 10 Zoll nehmen, und um in demselben Verhältnisse die Halbmesser der ersten und vierten Fläche zu ändern, braucht man nur dieselben mit $\frac{10}{10.212}$ zu multipliciren. Es wird sonach der Halbmesser

der ersten Fläche $= 31.51 \times \frac{10}{10.212} = 30.85$ Zoll

= zweiten = = = = = = = = = 10.00 =

= dritten = = = = = = = = = 10.00 =

= vierten = $= 50.13 \times \frac{10}{10.212} = 49.09$ =

Die Fokaldistanz des Objektivs

$= 46 \times \frac{10}{10.212} = 45.09$ =

Durch diese Abänderung wird die Fokaldistanz des Objektivs ein wenig geändert, was von keinem bedeutenden Einflusse ist. Uebrigens muß man diesen Umänderungen nicht zuviel Ausdehnung geben, und dieselben überhaupt nur bei kleineren Objektiven anwenden.

Bei allen diesen Rechnungen ist ferner auf die Dicke der Glaslinsen keine Rücksicht genommen (§. 50). Der Fehler, welcher in den Fokaldistanzen und sonach in den Krümmungshalbmessern dadurch entsteht, ist jedoch für alle Fälle, die gewöhnlich vorkommen, und selbst bis zu Objektiven von bedeutender Dimension, so unbedeutend, daß er rücksichtlich der möglichen Fehlergränze in den übrigen Bestimmungen, die zu einem

aplanatischen Objektiv gehören, vernachlässiget werden kann. Doch ist es nothwendig, den beiden Linsen des Objektivs, vorzüglich aber der Konkavlinse, keine größere Dicke zu geben, als ihre Form und Festigkeit gerade erfordert.

§. 110. Die Krümmungshalbmesser der vier Flächen eines doppelten Objektivs, wie sie nach der bisher gezeigten Art aus der mitgetheilten Tafel nach den gegebenen Brechungs- und Zerstreuungsverhältnissen gefunden werden, sind eben dieselben, welche der berühmte Fraunhofer in München seinen achromatischen Objektiven, und zwar schon seit dem Jahre 1817, gegeben hat; und ich habe diese Uebereinstimmung aus der Vergleichung mehrerer Fraunhofer'schen Objektive gefunden, wie nachstehende Fälle zeigen, welche ich hier darum ausführlich anführe, weil sie zugleich für den Anfänger zur Einübung in dieser Art von Rechnungen dienen.

Um die Krümmungshalbmesser der Linsen eines fertigen Objektivs mit großer Genauigkeit zu bestimmen, hat Herr Stampfer, Professor der praktischen Geometrie am k. k. polytechnischen Institute, eine sinnreiche Methode angewendet, bei welcher durch Messung der von der Fläche der Linse reflektirten Bilder mit einem Reichenbach'schen Theodolithen, die Krümmungshalbmesser dieser Flächen genau berechnet werden. Herr Professor Stampfer hat nun nach dieser Methode, welche zugleich die Bestimmung der Brechungsverhältnisse der Glasarten, aus denen diese Linsen bestehen, zuläßt, auf mein Ersuchen die Krümmungshalbmesser von drei Fraunhofer'schen Objektiven bestimmt. Im Nachstehenden werden dieselben in dieser Beziehung näherungsweise, nämlich ohne Berücksichtigung der Dicke der Gläser, berechnet, da die Identität des Gesetzes, aus welchem diese Krümmungshalbmesser hergeleitet sind, schon

aus der Uebereinstimmung derselben bei einem angenommenen Brechungsverhältnisse hervorgeht.

§. 111. I. Ein Objektiv aus dem Fernrohre eines älteren Reichenbach'schen 12zölligen Theodolithen. Die Spiegelglaslinse desselben ist doppelt konvex, die Flintglaslinse ist plankonkav.

Der Halbmesser der ersten Fläche ist = 7.15 Zoll W.
= = = zweiten = = = 7.00 = =
= = = dritten = = = 7.00 = =
die vierte Fläche plan.
Die Oeffnung = 14 Linien W.

Nehmen wir nun für die Spiegelglaslinse den Brechungsinder = 1.530, und für die Flintglaslinse = 1.636, wie ich dieses (§. 133—34) für einige Stücke Crown- und Flintglas, welche mir Herr Fraunhofer im Jahr 1818 gegeben hatte, gefunden habe; ferner das Zerstreuungsverhältniß = 0.603, wie es für dieselben Glasarten weiter unten (§. 150) gefunden worden ist*).

Es ist nun die Fokaldistanz der Spiegelglaslinse nach Formel

$$(IV) = \frac{7.15 \times 7.0}{0.53 \times 14.15} = 6.678 \text{ Zoll},$$

jene der Flintglaslinse nach Formel

$$(XXVII) = \frac{7}{0.636} = 11.006 \text{ Zoll}.$$

---

*) Dieses Flintglas zerstreut unter allen, welche wahrscheinlich bisher in der Optik angewendet worden sind, am stärksten. Sein Zerstreuungsverhältniß ist nach der von Fraunhofer gebrauchten Art, dieses Verhältniß auszudrücken $\left(\frac{dn}{dn'}\right) = 0\,502$; es verhält sich also nahe wie 2 zu 4.

Wir können nun für ein achromatisches Objektiv aus beiden Gläsern die Krümmungshalbmesser aus der Tafel für die Fokallänge von 10 Zoll berechnen. Man erhält nämlich nach der oben angegebenen Weise

für den Halbmesser der ersten Fläche = 6''707
= = = = zweyten = = 3''065
= = = = dritten = = 3''390
= = = = vierten = = 17''822.

Hier ist die Flintglaslinse konvexkonkav; verwandelt man nun diese nach (§. 49, 5) in eine plankonkave von derselben Fokaldistanz; so ist der Halbmesser der Konkavität, oder der dritten Fläche $= \frac{rR}{R - r} = \frac{3.390 \times 17.822}{14.430} = 4''1876$,

sonach der Halbmesser der zweiten Fläche ebenfalls = 4''1876
Also der Halbmesser der ersten Fläche nach der Formel

$$(VII) = \frac{3.970 \times 0.53 \times 4.1876}{4.1876 - 3.970 \times 0.53} = 4''2290.$$

Die Fokaldistanz des Doppelobjektivs ist nach der Formel

$$F' = \frac{Ff}{F - f} = \frac{6.678 \times 11.006}{4.328} = 16.984 \text{ Zoll.}$$

Werden nun diese eben gefundenen Halbmesser, welche für 10 Zoll Fokaldistanz gelten, auf jene Fokaldistanz reducirt, indem man sie mit $\frac{16.984}{10}$ multiplicirt; so werden für das aus einer Konvexlinse und einer Plankonkavlinse bestehende Objektiv folgende Halbmesser erhalten; nämlich

für die erste Fläche $= \frac{16.984}{10} \times 4.3347 = 7''182$
für die zweite Fläche = 7''112
für die dritte Fläche (konkav) = 7''112
Die vierte Fläche ist plan.

Diese berechneten Halbmesser sind also von den gemessenen wenig verschieden, und bei einer geringen Aenderung in dem Werthe des Brechungsindex für beide Gläser würden dieselben gänzlich übereinstimmen.

Uebrigens ist es schon aus dem früher Gesagten klar, daß dieses Doppelobjektiv mit einer plankonkaven Linse rücksichtlich der Aufhebung der sphärischen Abweichung, weniger vollkommen sey, als jenes mit der konvexkonkaven Linse und den aus der Tafel berechneten Halbmessern; daher diese Umänderung nur für kleine Objektive räthlich ist, und für den hier Statt findenden Fall der Verwendung für das Fernrohr eines Theodolithen noch im besondern zu bemerken kommt, daß hier der Gegenstand immer durch die Mitte des Glases visirt wird, folglich eine geringe sphärische Abweichung gegen den Rand des Gesichtsfeldes hier nicht in Betrachtung kommt.

II. Ein zweites achromatisches Objektiv von Fraunhofer aus neuerer Zeit von 37 Linien Pariser Maß Oeffnung, hatte nach den Messungen des Herrn Professor Stampfer den Krümmungshalbmesser der ersten Fläche = 33.42 W. Zoll

= = = zweiten = = 13.29 =

= = = dritten = = 13.55 =

= = = vierten = = 60.61 =

Die Flintglaslinse ist wie bei allen größern achromatischen Objektiven Fraunhofers, konvexkonkav. Wird nun der Brechungsindex für die Spiegelglaslinse = 1.528, und jener für die Flintglaslinse = 1.616 angenommen; so ergibt sich

die Fokaldistanz der Konvexlinse = 18''03

die Fokaldistanz der Konvexkonkavlinse = 28''33

und die Fokaldistanz des Doppelobjektivs = 49''30.

Das Zerstreuungsverhältniß für die beiden Glasarten die-

fer Linsen, welche das achromatische Objektiv bilden, kann daher $= \frac{18.03}{28.33} = 0.6354$ genommen werden.

Nimmt man nun für dieses Zerstreuungsverhältniß und jene Brechungsindices die Halbmesser aus der Tafel nach der angezeigten Weise für 10 Zoll Fokallänge des Doppelobjektivs: so erhält man

Krümmungshalbmesser für die erste Fläche = 6′′779
= = = zweite = = 2′′688
= = = dritte = = 2′′747
= = = vierte = = 12′′338.

Reducirt man nun diese Halbmesser auf die Fokallänge des Doppelobjektivs von 49′′30, indem man dieselben mit $\frac{49.30}{10}$ multiplicirt; so ergeben sich für dieses Objektiv die berechneten Halbmesser

für die erste Fläche = 33′′42
= = zweite = = 13′′25
= = dritte = = 13′′54
= = vierte = = 60′′82.

Diese Halbmesser stimmen also mit den durch die Messung gefundenen Halbmessern fast ganz überein.

III. Ein drittes achromatisches Objektiv von Fraunhofer aus der neueren Zeit, von 48 Pariser Linien Oeffnung hatte nach den Messungen des Herrn Professor Stampfer folgende Halbmesser

Krümmungshalbmesser der ersten Fläche = 41.800 Zoll.
= = zweiten = = 16.638 =
= = dritten = = 16.972 =
= = vierten = = 75.653 =

Die Flintlinse ist wie gewöhnlich konvexkonkav.

Der Brechungsindex für die Spiegelglaslinse sey, wie vorher, = 1.528, jener für die Flintglaslinse = 1.616.

Hiernach ergibt sich

die Fokaldistanz der Konvexlinse = 22′′540
= = der Konvexkonkavlinse = 35′′521
= = des Doppelobjektivs = 61′′676.

Sonach ist das Zerstreuungsverhältniß der beiden Linsen

$$= \frac{22.540}{35.521} = 0.635.$$

Hiernach ergeben sich aus der Tafel

der Halbmesser der ersten Fläche = 6′′7786
der Halbmesser der vierten Fläche = 12′′3460.

Nun ist ferner für eben diese Fokallänge von 10 Zoll, die Fokallänge der Konvexlinse = (1 — 0.635) × 10 = 3′′65,

und die Fokallänge der Konkavlinse $= \frac{3.686}{0.635} = 5''748.$

Folglich ist der Halbmesser der zweiten Fläche nach der bekannten Formel = 2′′6929, und jener der dritten Fläche = 2′′7532.

Werden nun diese für 10 Zoll Fokallänge gefundenen Halbmesser auf die Fokallänge des Doppelobjektivs von 61′′676 reducirt; so erhält man

den Krümmungshalbmesser der ersten Fläche = 41′′808
= = = zweiten = = 16′′608
= = = dritten = = 16′′982
= = = vierten = = 76′′146.

Diese berechneten Halbmesser stimmen also ebenfalls nahe mit den durch die Messung gefundenen überein, und es bedarf nur einer geringen Aenderung in den Brechungsverhältnissen, um die Uebereinstimmung vollkommen zu machen.

Diese Beispiele beweisen also hinreichend, daß die oben

Bayerische Staatsbibliothek München

angegebene und auf die Tafel gegründete Berechnungsart der Krümmungshalbmesser des doppelten Objektivs eben dieselbe sey, als diejenige, nach welchen die Krümmungshalbmesser der so berühmten Fraunhofer'schen Objektive bestimmt worden sind; so daß hiernach der Künstler gewiß seyn kann, nach der hier gegebenen Anleitung etwas gleich vortreffliches zu Stande zu bringen, wenn er durch genaue und fleißige Arbeit die berechneten Krümmungen seinen Linsen genau zu geben im Stande ist, wovon späterhin noch die Rede seyn wird.

§. 112. Für Objektive von bedeutender Oeffnung muß man die Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse mit der größten Genauigkeit bestimmen, weil Fehler in denselben dann bedeutende Fehler in der Abweichung hervorbringen. Nach Herrn Fraunhofers Beobachtungen vereinigt sich in dem Bilde des Objektivs die größte Menge Licht, oder die Abweichung der hellesten und dichtesten Farben wird am geringsten, wenn das Zerstreuungsverhältniß etwas größer genommen wird, als es die Versuche geben. Diese Vermehrung beträgt für mittlere Zerstreuungsverhältnisse etwa $\frac{12}{1000}$ des gegebenen Verhältnisses.

Wenn also das gefundene Zerstreuungsverhältniß der beiden Glasarten = 0.650 ist, so würde es nach dieser Korrektion $= 0.650 + 0.650.\frac{12}{1000} = 0.6578$ werden; nach welchem Verhältnisse sodann die Halbmesser aus der Tafel zu berechnen kommen. Hat das gefundene Zerstreuungsverhältniß mehr als drei Decimalstellen, wie eben in diesem Beispiele; so muß die vierte in der Tafel interpolirt werden. Z. B. Von 0.657 und 0.658 differiren in der Tafel die ersten Halbmesser um 0.0020, für 0.657 ist der erste Halbmesser = 6.7456; zu diesem wird also $0.0020 \times 0.8 = 0.00160$ addirt; der Halbmesser ist also

= 6.7472. Für die dritte Kolumne ist die Differenz der beiden Zahlen = — 0.04, also 0.04 × 0.8 = — 0.032; dieses von der zu 0.657 gehörigen Zahl subtrahirt, gibt = 5.268, als die zu dem Zerstreuungsverhältnisse 0.6578 gehörige Zahl, u. s. w.

§. 113. Ein großer Vortheil ist es für den praktischen Künstler, wenn er größere Mengen Flint- und Spiegelglas von gleicher Beschaffenheit besitzt, damit er nicht für jedes einzelne Stück Glas, also für jedes einzelne Objektiv erst die Krümmungshalbmesser berechnen müsse. Hat das Glas, das zur Verfertigung mehrerer Objektive dienen soll, dasselbe Brechungs- und Zerstreuungsvermögen, so findet man nach der früher für die Fokallänge von 10 Zoll angegebenen Art, aus den Krümmungshalbmessern des einen Objektivs jene eines anderen von verschiedener Fokaldistanz.

Z. B. in dem zweiten Beispiele ist die Fokallänge des Doppelobjektivs = 49‴30 und die nach den gegebenen Brechungs- und Zerstreuungsverhältnissen berechneten Krümmungshalbmesser sind bekannt. Man erhält also die Krümmungshalbmesser eines Doppelobjektivs aus demselben Glase für 60 Zoll Fokallänge, wenn man die Halbmesser des Doppelobjektivs Nr. II mit $\frac{60‴}{49‴.30}$ multiplicirt, was wie überhaupt in allen diesen Rechnungen am leichtesten mit Logarithmen geschieht. Der

Logar. m $\frac{60}{49.30}$ ist

= 0.0853044, also

dazu 1.5240064 der Logar. von 33‴.42

1.6093118 = . . . log. 40.674.

0.0853044

1.1222159 der log. 13.25

1.2075203 = . . . log. 16.‴126.

0.0853044

1.1316187 log. 13.54

1.2169231 = . . log. 16″479.

0.0853044

1.7840464 log. 60.82

1.8693503 = . . . log. 74″021.

Es ist jedoch zu bemerken, daß man diese Methode nur dann anwenden könne, wenn die Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse bei den zu den verschiedenen Objektiven verwendeten Gläsern ganz gleich sind, d. h. sie müssen in drei Decimalstellen dieselben seyn, weil sonst bedeutende Unrichtigkeiten in der Abweichung entstehen können.

§. 114. Herr Direktor Littrow hat vor Kurzem ebenfalls die achromatischen Objektive einer neuen Berechnung unterworfen, wobei er vorzüglich die für viele Zwecke so wichtige Vergrößerung der Oeffnung im Auge gehabt hat. Nach den Resultaten seiner Rechnungen hat er zugleich zum Gebrauche für Künstler eine Tafel entworfen, deren Ausführung und Bequemlichkeit in der Anwendung nichts zu wünschen übrig läßt. Diese scharfsinnige und gelehrte Arbeit ist in dem zweiten und dritten Hefte der Zeitschrift für Physik und Mathematik, herausgegeben von den Prof. Baumgartner und von Ettingshausen abgedruckt, und der berühmte Herr Verfasser hat uns erlaubt, die derselben angehängte Tafel hier aufzunehmen.

Erste Tafel.

Z	V	P	Q	Z	V	P	Q
0.500	1.00273	1.331	0.623	0.535	1.00716	1.402	0.597
01	1.00286	1.334	0 622	36	1.00727	1.403	0.596
02	1.00300	1.337	0.621	37	1.00737	1.404	0.596
03	1.00313	1.340	0.620	38	1.00748	1.406	0.595
04	1.00327	1.344	0.620	39	1.00758	1.407	0.594
0.505	1.00340	1.346	0.619	0.540	1.00768	1.408	0.594
06	1.00354	1.349	0.618	41	1.00778	1.409	0.593
07	1.00367	1.352	0.617	42	1.00788	1.410	0.592
08	1.00381	1.355	0.616	43	1.00798	1.411	0.591
09	1.00394	1.357	0.616	44	1.00808	1.413	0.591
0.510	1.00408	1.360	0.615	0.545	1.00817	1.414	0.590
11	1.00421	1.362	0.614	46	1.00826	1.415	0.589
12	1.00434	1.365	0.613	47	1.00837	1.416	0.589
13	1.00447	1.367	0.612	48	1.00844	1.417	0.588
14	1.00461	1.369	0.612	49	1.00852	1.418	0.587
0.515	1.00474	1.371	0.611	0.550	1.00861	1.419	0.587
16	1.00487	1.374	0.610	51	1.00870	1.420	0.585
17	1.00499	1.375	0.610	52	1.00878	1.421	0.584
18	1.00512	1.377	0.609	53	1.00886	1.421	0.583
19	1.00525	1.379	0.608	54	1.00894	1.422	0.582
0.520	1.00538	1.381	0.608	0.555	1.00901	1.423	0.581
21	1.00550	1.382	0.607	56	1.00909	1.424	0.581
22	1.00563	1.384	0.606	57	1.00916	1.425	0.580
23	1.00575	1.385	0.605	58	1.00923	1.426	0.580
24	1.00588	1.387	0.604	59	1.00930	1.427	0.579
0 525	1.00600	1.389	0.603	0.560	1.00937	1.428	0.579
26	1.00612	1.391	0.603	61	1.00943	1.429	0.578
27	1.00624	1.392	0.602	62	1.00950	1.430	0.577
28	1.00636	1.393	0 602	63	1.00956	1.431	0.576
29	1.00647	1.394	0.601	64	1.00962	1.432	0.576
0.530	1.00659	1.396	0.601	0.565	1.00967	1.432	0.575
31	1.00670	1.397	0.600	66	1.00973	1·433	0.574
32	1.00682	1.399	0.599	67	1.00978	1.434	0.573
33	1.00693	1.400	0.599	68	1.00984	1.435	0.573
34	1.00705	1.401	0.598	69	1.00989	1.436	0.572

Z	V	P	Q	Z	V	P	Q
0 570	1.00994	1.437	0.572	0.605	1.01046	1.478	0.553
71	1.00998	1.438	0.571	6	1.01045	1.480	0.553
72	1.01003	1.439	0.570	7	1.01044	1.482	0.553
73	1.01007	1 440	0.569	8	1.01042	1.483	0.552
74	1.01011	1.441	0.569	9	1 01040	1.484	0.552
0.575	1.01014	1.441	0.568	0.610	1.01038	1.486	0.552
76	1.01018	1 443	0.567	11	1.01036	1.487	0.551
77	1.01021	1.444	0.567	12	1.01034	1.489	0.551
78	1.01025	1.445	0.566	13	1.01031	1.490	0.550
79	1.01028	1.446	0.566	14	1.01029	1.492	0.550
0.580	1.01031	1.448	0.566	0.615	1.01026	1.493	0.550
81	1.01033	1.449	0.565	16	1.01024	1.495	0.550
82	1,01036	1.450	0.564	17	1.01021	1.496	0.549
83	1.01038	1.451	0.563	18	1.01018	1.498	0.549
84	1.01041	1.452	0.563	19	1.01015	1.499	0.549
0.585	1.01042	1.453	0.562	0.620	1.01013	1.501	0.549
86	1.01044	1.454	0.561	21	1.01010	1.502	0.549
87	1.01045	1.455	0.561	22	1.01007	1.503	0.549
88	1.01047	1.456	0.561	23	1.01003	1.504	0.549
89	1.01048	1.457	0.560	24	1.01000	1.506	0.548
0.590	1.01050	1.459	0.560	0.625	1.00997	1.508	0.548
91	1.01050	1.460	0.560	26	1.00994	1.509	0.548
92	1.01051	1.462	0.559	27	1.00990	1.510	0.548
93	1.01051	1.463	0.559	28	1.00987	1.612	0.547
94	1.01052	1.464	0.558	29	1.00983	1.514	0.547
0.595	1.01052	1.465	0.557	0.630	1.00980	1.515	0.547
96	1.01053	1.466	0.557	31	1.00977	1.516	0,547
97	1.01053	1·467	0.556	32	1·00974	1.517	0.547
98	1.01052	1.469	0.556	33	1.00970	1.518	0.546
0.599	1.01052	1.470	0.555	34	1.00966	1.520	0.546
0.600	1.01051	1.472	0.555	0.635	1.00962	1.521	0.546
1	1.01050	1.473	0.555	36	1.00959	1.523	0.546
2	1.01050	1.474	0.554	37	1.00955	1.524	0.545
3	1.01049	1.475	0.554	38	1.00952	1.525	0.545
4	5·01047	1.477	0.554	39	1.00948	1.527	0.545

Z	V	P	Q	Z	V	P	Q
0.640	1.00945	1.528	0.545	0.675	1.00892	1.540	0.541
41	1.00941	1.529	0.545	76	1.00894	1.539	0.541
42	1.00938	1.530	0 545	77	1.00896	1.538	0.541
43	1.00934	1.531	0.545	78	1.00899	1.537	0.541
44	1.00931	1.532	0.545	79	1.00902	1.536	0.541
0.645	1.00928	1.533	0.544	0.680	1.00906	1.534	0.541
46	1.00925	1.534	0.544	81	1.00910	1.532	0.541
47	1.00922	1.535	0.544	82	1.00914	1.531	0.541
48	1.00919	1.536	0.543	83	1 00919	1.529	0.542
49	1.00916	1.537	0.543	84	1.00924	1.527	0.542
0.650	1.00912	1.538	0.543	0.685	1.00929	1.525	0.542
51	1.00909	1.539	0.543	86	1.00935	1.523	0.542
52	1.00906	1.540	0.543	87	1.00941	1.521	0.543
53	1.00904	1.540	0.543	88	1.00947	1.519	0.543
54	1.00902	1.541	0.543	89	1.00954	1.516	0.543
0.655	1.00899	1.541	0.542	0.690	1.00962	1.513	0.543
56	1.00897	1.542	0.542	91	1.00970	1.510	0.543
57	1.00895	1.542	0.542	92	1.00978	1.507	0.543
58	1.00893	1.543	0.541	93	1.00987	1 503	0.544
59	1.00892	1.544	0.541	94	1.00997	1.500	0.544
0.660	1.00890	1.544	0.541	0.695	1.01007	1.497	0.544
61	1.00888	1.544	0 541	96	1.01017	1.494	0.544
62	1.00887	1.544	0.541	97	1.01028	1.490	0.545
63	1.00886	1.545	0.541	98	1.01039	1.487	0.545
64	1.00885	1.545	0.541	0.699	1.01051	1.484	0.545
0.665	1.00885	1.545	0.541	0.700	1.01063	1.480	0.545
66	1.00884	1.544	0 540				
67	1.00884	1.544	0.540				
68	1.00884	1.544	0.540				
69	1.00885	1 544	0.540				
0.670	1.00885	1.544	0.540				
71	1.00886	1.543	0.540				
72	1.00887	1.542	0.540				
73	1.00888	1.542	0.541				
74	1.00890	1.541	0.541				

Zweite Tafel.

n	r′=r″	M	N	x
1.500	1.000	2.005555	1.001667	0.3481
1.501	1.002	2.001548	1.001666	0.3489
1.502	1.004	1.997555	1.001664	0 3497
1.503	1.006	1.993578	1.001663	0.3504
1.504	1.008	1.989618	1.001662	0.3511
1.505	1.010	1.985673	1.001661	0.3518
1.506	1.012	1.981744	1.001660	0.3525
1.507	0.014	1.977830	1.001659	0.3532
1.508	1.016	1.973932	1.001658	0.3539
1.509	1.018	1.970048	1.001657	0.3546
1.510	1.020	1.966180	1.001656	0.3553
1.511	1.022	1.962328	1.001655	0.3560
1.512	1 024	1.958490	1.001653	0.3567
1.513	1.026	1.954667	1.001652	0.3574
1.514	1.028	1.950860	1.001651	0.3581
1.515	1.030	1.947067	1.001650	0.3587
1.516	1.032	1.943283	1.001649	0.3594
1.517	1.034	1.939525	1.001648	0.3601
1.518	1.036	1.935776	1.001647	0.3608
1.519	1.038	1.932041	1.001646	0.3615
1.520	1.040	1.928321	1.001645	0.3622
1.521	1.042	1 924615	1.001644	0.3630
1.522	1 044	1.920923	1.001643	0.3637
1.523	1.046	1.917245	1.001641	0.3644
1.524	1.048	1.913582	1.001640	0.3650
1.525	1.050	1.909932	1.001639	0.3657
1.526	1.052	1.906296	1.001638	0.3664
1.527	1.054	1.902674	1.001637	0.3671
1.528	1.056	1.899066	1.001636	0.3678
1.529	1.058	1.895471	1.001635	0.3685
1.530	1.060	1.891891	1.001634	0.3692
1.531	1.062	1.888323	1.001633	0.3699
1.532	1.064	1.884770	1.001632	0.3706
1.533	1.066	1.881229	1.001631	0.3714
1.534	1.068	1.877700	1.001630	0.3721
1.535	1.070	1.874186	1.001628	0.3728
1.536	1.072	1.870685	1.001627	0.3735
1.537	1.074	1.867197	1.001626	0.3742
1.538	1.076	1.863722	1.001625	0.3749
1.539	1.078	1.860260	1.001624	0 3756
1.540	1.080	1.856810	1.001623	0.3763

Die nach dieser Tafel konstruirten Objektive haben gleiche Krümmungshalbmesser für die beiden Flächen der doppelt konvexen Spiegelglaslinse, die beiden Flächen der Flintglaslinse sind konkav.

Der Gebrauch der Tafeln ist nach der Anweisung des Herrn Verfassers folgender:

Der Halbmesser der ersten Fläche sey $= r'$

= = = = zweiten = $= r''$

= = = = dritten = $= r'''$

= = = = vierten = $= r^{IV}$

n sey das Brechungsverhältniß für die Spiegelglaslinse, n′ dasselbe für die Flintglaslinse; das Zerstreuungsverhältniß sey $= Z$. Endlich sey y die Brennweite des Objektivs, und x der Durchmesser des Objektivs.

1) Zuerst sucht man nun mit dem gegebenen Werthe von n aus der zweiten Tafel die hier unmittelbar gegebenen Größen von $r' = r''$, von M, N und x.

2) Aus der ersten Tafel nimmt man nach dem gegebenen Werthe von Z die Größen V, P und Q, so erhält man den dritten Halbmesser durch die einfache Gleichung

$$r''' = V + (n - 1.5)P + (n' - 1.6)Q$$

3) Der vierte Halbmesser r^{IV} wird durch folgende Gleichung erhalten

$$\frac{1}{r^{IV}} = MZ - \frac{1}{r'''}$$

4) Endlich die Brennweite durch die Formel

$$\frac{1}{y} = N - (n' - 1)MZ.$$

Beispiel. Für $n = 1.53$, $n' = 1.63$, und $Z = 0.60$, gibt die zweite Tafel

1) $r' = r'' = 1.060$

$M = 1.891891$

$N = 1.001634$

$x = 0.3692.$

2) Aus der ersten Tafel erhält man für

$V = 1.01051$

$P = 1.472$

$Q = 0.555,$ also nach der Formel

$r''' = 1.01051 + 0.04416 + 0.01665 = 1.07132$

3) Weiter wird hiernach

$r^{IV} = 4.957517,$ und

4) $y = 3.49041.$

Sonach ist der Halbmesser der ersten und

zweiten Fläche = 1.06

der Halbmesser der dritten Fläche (konkav) = 1.07132

" = = = vierten = (konkav) = 4.957517

Durchmesser des Objektivs = 0.3692

Brennweite desselben = 3.49041

Bei diesen Zahlen ist die Brennweite der ersten Linse als Einheit angenommen: sollen sie also für eine bestimmte Fokallänge des Objektivs $= F$ gelten; so müssen sie mit $\frac{F}{y}$ multiplicirt werden. Ist diese Fokallänge = 60 Zoll, so ist sonach

der erste und zweite Halbmesser = 18.″22136

der dritte Halbmesser = 18.″41595

= vierte = = 85.″21952

Durchmesser des Objektivs = 6.″34653

Brennweite desselben = 60.″00000.

Der Herr Verfasser hat für verschiedene Brechungs- und

Zerstreuungsverhältnisse noch nachstehende Tafel für einzelne Fälle berechnet.

n	n'	z	Zwei erste Halbmesser $r'=r''$	Dritter Halbmesser. r'''	Vierter Halbmesser. r^{IV}	Brennweite y	Oeffnung x
1.50	1.60	0.55	1.00	1.00862	8.96079	2.94262	0.3481
1.53	1.60	0.60	1.06	1.05468	5.34828	3.11960	0.3504
1.53	1.63	0.65	1.06	1.07150	3.37315	4.40713	0.3504
1.53	1.60	0.70	1.06	1.05504	2.65612	4.82999	0.3504
1.53	1.63	0.70	1.06	1.07140	2.55778	5.97693	0.3504
1.50	1.60	0.70	1.00	1.010636	2.413057	6.27614	0.3481

Auch bei diesen Objektiven fallen also die Halbmesser der beiden inneren Flächen nahe zusammen, so daß auch hier dasselbe gilt, was bereits oben erwähnt worden ist (§. 108).

Es muß jedoch noch bemerkt werden, daß bei den dieser Tafel zum Grunde liegenden Rechnungen das Zerstreuungsverhältniß durch $\frac{dn}{dn'}$ bestimmt ist, während es bisher durch $\frac{dn}{dn'} \times \frac{n'-1}{n-1}$ ausgedrückt worden ist (§. 81), in welcher Bedeutung es auch durch die weiter unten angegebenen Methoden erhalten, und wenn keine eigene Bemerkung beygefügt ist, immer so angenommen wird. Wenn man also das Zerstreuungsverhältniß nach jenen Methoden und mit dem von mir angegebenen Instrumente erhalten hat; und man will aus der vorstehenden Tafel nach demselben die Krümmungshalbmesser berechnen; so muß man dieses gefundene Zerstreuungsverhältniß erst mit $\frac{n-1}{n'-1}$ multipliciren, oder auch nach der an jenem Orte angegebenen Formel unmittelbar berechnen (§. 151). Z. B. das nach jenen Methoden gefundene Zerstreuungsver-

hältniß sey $= 0.603$;

$n = 1.530$ und

$n' = 1.636$;

so ist das Zerstreuungsverhältniß, welches man für die vorstehende Tafel anwenden muß

$$= 0.603 \times \frac{0.530}{0.636} = 0.502 \quad (\S.\ 111,\ I).$$

Dritter Abschnitt.

Von der Bestimmung der Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse der Glasarten.

§. 115. Aus dem Bisherigen haben wir gesehen, daß bei der Herstellung eines achromatischen Objektives alles auf der gehörigen Bestimmung der Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse der Glasarten beruhe, aus denen die beiden Linsen bestehen. Man kann durch einige Uebungsrechnungen sich leicht überzeugen, wie sehr die Krümmungshalbmesser der Linsen sich ändern, wenn die Aenderungen der Brechungsindices und des Zerstreuungsverhältnisses auch nicht sehr bedeutend sind. Bei der Verfertigung vollkommener achromatischer Objektive ist die Bestimmung dieser Verhältnisse daher eine Hauptsache, und muß eine wesentliche Angelegenheit des Künstlers ausmachen. Es ist nicht zu läugnen, daß diese Bestimmung gerade das schwierigste Geschäft bei der ganzen Sache sey. Allein für denjenigen, der etwas vollkommenes zu Stande bringen will, ist es unmöglich diese Arbeit zu umgehen.

§. 116. Gewöhnlich helfen sich praktische Künstler dadurch, daß sie den beiden Linsen Krümmungshalbmesser geben, die im Allgemeinen für mittlere Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse passen, (z. B. die einen oder die anderen der im vorigen Abschnitte berechneten Halbmesser) das Objektiv sonach in ein Rohr einsetzen, mittelst eines stark vergrößernden Okulars dasselbe auf Gegenstände probiren, und so lang, als diese noch

farbige Ränder zeigen, die Krümmungshalbmesser der vorderen oder der hinteren Fläche ändern.

Bei kleinen Objektiven von etwa 1 Zoll Oeffnung und nicht kurzer Fokallänge, bei welchen sonach die sphärische Abweichung nicht bedeutend ist, mag diese Methode noch hingehen; allein für Objektive von größerer Dimension ist sie völlig untauglich. Denn erstens ist, wie bereits oben bemerkt worden, die Verschwindung der farbigen Ränder noch kein Zeichen der völligen Aufhebung der chromatischen Abweichung; zweitens wird bei jener Methode auch die farbige Wirkung des einstweilen gebrauchten Okulars kompensirt, sonach jene des Objektivs mehr als kompensirt; endlich bleibt bei diesem Verfahren ein sehr bedeutender Theil der sphärischen Abweichung zurück, da diese nur durch das gehörige Verhältniß der Krümmungshalbmesser aufgehoben werden kann. Den letzteren Fehler findet man bei allen Objektiven, die auf ähnliche Art verfertigt worden sind, und die daher, obgleich sie achromatisch zeigen, doch nicht die Deutlichkeit gewähren, die einem vollkommenen Objektiv eigen ist.

Das erste, was mit den Gläsern, welche man zu Objektiven verarbeiten will, vorzunehmen ist, ist die Bestimmung ihres Brechungsinder, da ohne dessen Kenntniß das Zerstreuungsverhältniß nicht genau bestimmt werden kann.

Von der Bestimmung des Brechungsverhältnisses der Glasarten.

§. 117. Methoden zu dieser Bestimmung, welche kostspielige Instrumente, ausgedehntere Kenntnisse und die feine Geübtheit eines experimentirenden Physikers erfordern, sind nicht für den praktischen Optiker anwendbar. Ich werde daher hier nur solche Verfahrungsarten angeben, welche von allen denjenigen, für deren Gebrauch diese Abhandlung bestimmt ist,

ohne Schwierigkeit ausgeübt werden können, und dabei für die einzelnen Zwecke hinreichende Genauigkeit gewähren. Ich werde dabei keine Verfahrungsart angeben, die ich nicht selbst versucht und geprüft habe.

Ableitung des Brechungsinder aus der Vereinigungsweite und den Krümmungshalbmessern der Linse.

§. 118. In den Formeln (II, III und IV), welche die Vereinigungsweite der Linse aus den Krümmungshalbmessern angeben, ist die Größe a oder der Brechungsinder weniger Eins enthalten. Wenn daher die Fokaldistanz der Linse und ihre Krümmungshalbmesser bekannt sind; so läßt sich daraus der Brechungsinder (1 + a) leicht finden. Es ist sonach

1) für divergente Strahlen und die doppelt konvexe Linse

$$a = \frac{(d + f)rR}{(r + R)df}$$

2) für die gleichschenkliche Linse

$$a = \frac{(d + f)r}{2df},$$

3) für parallele Strahlen und ungleich gekrümmte Flächen

$$a = \frac{rR}{(r + R)f}$$

4) für gleichgekrümmte Flächen

$$a = \frac{r}{2f}$$

5) für divergente Strahlen und die plankonvexe Linse

$$a = \frac{(d + f)r}{df}$$

6) für parallele Strahlen

$$a = \frac{r}{f}.$$

§. 119. Um daher aus diesen Formeln den Brechungsindex $1 + a$ zu bestimmen, muß aus dem zu untersuchenden Glase eine Linse geschliffen werden, deren Krümmungshalbmesser genau bekannt ist. Dieses hat für den Künstler keine Schwierigkeit: denn wenn er in seinen Schleifschalen die genau berechneten Halbmesser seinen Linsen geben will, so muß er auch umgekehrt die Krümmungen seiner Linsen genau kennen, die er mit Sorgfalt in jenen Schalen geschliffen hat.

Hiernach ist es nöthig, genau die Vereinigungsweite dieser Linse zu bestimmen. Dieses ist allerdings schwierig, wenn eine große Genauigkeit erreicht werden soll, weil hier immer unvermeidliche Fehler eintreten, die aus der Dicke des Glases und vorzüglich aus der sphärischen Abweichung entstehen. Die letztere läßt sich zwar ebenfalls in Rechnung bringen, allein diese Rechnung wird dann so komplicirt, daß sie für den Praktiker nicht brauchbar ist. Um ein hinreichend genaues Resultat zu erhalten, muß man daher die Versuche unter solchen Umständen anstellen, welche die möglichen Fehler möglichst vermindern.

§. 120. Zu diesem Behufe nimmt man 1) entweder doppelt konvexe Linsen mit gleichgekrümmten Flächen, oder plankonvexe Linsen. Erstere haben den Vortheil, daß ihre beiden Flächen in derselben Schale bearbeitet sind, und etwaige Fehler der Flächen sich leichter aufheben. Letztere können für parallele Strahlen mit der Planseite dem Lichte der Sonne entgegengesetzt werden, wodurch nur eine Brechung entsteht, also die Dicke der Linse nicht in Betracht kommt, und die genaue Fokaldistanz von der krummen Fläche an gemessen wird. 2) Um

bei den Versuchen mit diesen Linsen die sphärische Abweichung zu vermindern, gibt man denselben eine größere Brennweite, und verkleinert die Oeffnung durch Bedeckung des Randes, damit die Strahlen soviel möglich nahe an der Axe einfallen; denn alle bisher angeführten Formeln gelten nur für diese Strahlen.

3) Aus dem Flint- und Spiegelglase, deren Brechungsverhältnisse untersucht werden sollen, müssen beide Linsen mit demselben Halbmesser hergestellt, und mit derselben Oeffnung bei dem Versuche versehen werden, damit bei beiden alle Umstände gleich seyen. Eben so müssen mit beiden immer die Versuche unmittelbar nacheinander angestellt werden, damit die äußeren Umstände, besonders in der Beschaffenheit des Auges und wegen der richtigen Vergleichung der Deutlichkeit der Bilder dieselben bleiben. Die Versuche müssen endlich wiederhohlt, und aus allen das Mittel genommen werden, damit das Resultat so genau als möglich werde.

Um nun die Anstellungsweise der Versuche selbst völlig deutlich zu machen, müssen wir zuerst die einfallenden Strahlen als parallel, und dann als divergent betrachten.

A. Bestimmung des Brechungsinder aus der Vereinigungsweite von parallelen Strahlen, oder aus der Fokaldistanz.

§. 121. Erste Methode, durch unmittelbare Bestimmung der Brennweite.

Ich habe mich hierzu derjenigen Vorrichtung bedient, welche in der Figur XXVI abgebildet ist. AB ist ein viereckiges Stück aus festem Holze, etwa 3 Zoll breit und 1½ Zoll hoch, auf dessen oberer Fläche ein messingenes in ganze und zehentel

Zolle eingetheiltes Lineal eingelassen ist. Die beiden messingenen Hülsen C und D, welche dieses Stück umschließen, tragen zwei starke Ständer mit den kurzen Röhren E und F, welche 1 Zoll im Durchmesser haben. Beide Hülsen lassen sich, genau an das Holzstück anschließend, hin und her bewegen; die Hülse D läßt sich mit einer Stellschraube feststellen; die Hülse C hingegen läßt sich durch die Schraube b hin und her bewegen. Die vorderen Ränder o,i der beiden Röhren E und F sind so abgeglichen, daß sie mit den vordern Kanten der Hülsen, welche die Theilung auf dem Lineal abschneiden, in einer Ebene liegen, welche mit diesem Lineal oder der parallelen Linie mn einen rechten Winkel bildet; so daß die Entfernung der Ränder i und o auch jene der zugehörigen Kanten der beiden Hülsen ist. Ueber die Oeffnung o des kleinen Rohres E läßt sich ein messingener Ring aufschieben, welcher den Zweck hat, ein Stück feines Velinpapier, das man befeuchtet über diese Oeffnung legt, an das Rohr anzudrücken und festzuhalten; so daß dieses Papier nach dem Trocknen eine straff ausgespannte Fläche bildet. Damit der Ring während des Aufschiebens das Papier nicht zerreiße, ist er an dem einen Rande etwas aufgestülpt.

§. 122. Soll nun die Fokaldistanz einer Linse gefunden werden; so wird dieselbe in den Rand i des Rohres F befestigt, so daß sie senkrecht auf die Axe dieses Rohres steht; das Instrument dann gegen die Sonne gerichtet, so daß deren Bild durch die Linse auf die Mitte der Papierfläche in o fällt, und die Hülse D da festgestellt, wo beiläufig der Brennpunkt hinfällt. Mittelst der Schraube wird nun die andere Hülse so lang hin und her geschoben, bis das Sonnenbild sich auf dem Papiere mit völlig scharfem Rande zeigt. Man findet diesen Punkt nach einiger Uebung mit geringen Differenzen, wenn man die Papierfläche so viel nähert oder entfernt, bis der Rand des

Sonnenbildes undeutlich zu werden anfängt; das deutlichste Bild oder der Brennpunkt liegt in der Mitte dieser beiden Gränzen. Wird nun die Entfernung zwischen i und o genau gemessen, so ist diese die gesuchte Fokaldistanz der Linse.

Den Linsen, welche man hierzu anwendet, gibt man eine Oeffnung von 1 Zoll, damit sie genau in den Rand des Rohres passen. Zur Bequemlichkeit bei der richtigen Einsetzung der Linse dienet es, wenn für das Rohr F ebenfalls ein inwendig mit einer schmalen Blendung versehener Ring vorhanden ist, in welchen man die Linse einlegt, so daß nachdem derselbe über den Rand i aufgeschoben worden, der Rand der Linse zwischen dem Rande i des Rohres F und der Blendung des Ringes eingeklemmt ist, wodurch dieselbe eine richtige und centrale Lage erhält.

Hat die Linse keine bedeutende Brennweite, so überzieht man die eine Fläche derselben durch Aufkleben mit Gummi mit feinem Papier; und sticht in dieses feine Löcher nahe um den Mittelpunkt derselben: an der Stelle des Brennpunktes vereinigen sich dann diese Punkte auf der gespannten Papierfläche, wodurch man diesen Punkt sicherer auch bei weniger Uebung zu treffen im Stande ist*). Ist die Brennweite hingegen beträcht-

---

*) Auf ähnliche Weise wird auch die Brennweite einer Konkavlinse gemessen. Man überklebt die eine Seite derselben mit feinem Papier; und zieht aus dem Mittelpunkte einen kleinen Kreis. In diesen Kreis sticht man einige Löcher, oder man nimmt das ganze Papier, was von diesem Kreise umschlossen wird, genau heraus. Auf dem auffangenden Papier zieht man aus dem Mittelpunkte gleichfalls einen Kreis, dessen Halbmesser genau das Doppelte von dem ersteren beträgt. Man läßt nun das Licht durch die Punkte oder durch die Oeffnung auf das Papier fallen, und schiebt letzteres so lange zurück, bis die Lichtpunkte oder der Lichtkreis genau auf die Peripherie des auf

licher, so werden diese Punkte undeutlich, und es ist besser, nach der angegebenen Weise den Brennpunkt durch das deutliche Sonnenbild zu bestimmen, nachdem man die Oeffnung der Linse zum Theil verdeckt hat.

§. 123. Um nun nach dieser Methode den Brechungsindex eines Glases so genau, als es hier möglich ist, zu finden; nimmt man eine Plankonvexlinse, deren Krümmung mit einem Halbmesser von 8 Zoll genau geschliffen ist, die also von Spiegelglas eine Brennweite von etwa 15 und von Flintglas von etwa 12 Zollen hat, belegt den Rand derselben mit einem Ringe von Papier, so daß nur eine Oeffnung von etwa $\frac{3}{8}$ Zoll bleibt, befestigt dieselbe in dem vordern Rohre des Apparates so, daß die Planseite nach der Sonne zu gekehrt ist; und macht dann die Beobachtungen, wie im vorigen angegeben worden. Unter diesen Umständen kommt auch die sphärische Abweichung nicht mehr in Betracht, und es kommt nur darauf an, die Fokaldistanz selbst, d. h. die Entfernung der Papierfläche von der derselben zugekehrten Fläche der Linse so genau wie möglich zu bestimmen.

Beispiel. 1) Ein mit einem Halbmesser von 8 Zoll geschliffenes Plankonvexglas aus dem Spiegelglase Nr. IV wurde auf die beschriebene Art in den Apparat eingesetzt, und die Fokaldistanz durch die Sonne gemessen. Ein Mittel aus mehreren Messungen, die kaum $\frac{1}{4}$ Linie unter einander differirten, gab für die Fokaldistanz = 15.455 Zoll. Also ist $a = \frac{8}{15.455}$ (§. 118). Der Logar. von 8″ ist = 0.9030900

davon abgezogen 1.1890690

0.7140210 — 1

---

dem Papiere gezogenen Kreises fallen. Die Entfernung der Papierfläche von der Linse ist die (negative) Fokallänge der Konkavlinse. Der Grund davon erhellet aus der Fig. VIII.

= log. 0.51763. Folglich ist der Brechungsinder dieses Glases = 1.51763.

2) Ein mit demselben Halbmesser geschliffenes Plankonvexglas aus dem Flintglas Nr. II wurde wie vorher behandelt. Die gemessenen Fokaldistanzen waren $12''7\frac{3}{4}'''$, $12''7\frac{1}{2}'''$, $12''7\frac{2}{3}'''$, $12''7\frac{1}{2}'''$, $12''7'''$, $12'7\frac{1}{2}'''$; also das Mittel $= 12''7'''.6026 = 12''63355$; also von 0.9030900

abgezogen 1.1015237

0.8015663 — 1

= log. 0.63324. Folglich ist der Brechungsinder dieses Glases = 1.63324.

Beim Flintglase ist die Fehlergränze bei diesen Beobachtungen grösser, als beim Spiegelglase, weil das grössere Zerstreuungsvermögen mehr Undeutlichkeit des Bildes verursacht. Um mit letzterem gleiche Genauigkeit zu erhalten, muß man daher eine grössere Reihe von Beobachtungen machen.

Zweite Methode.

§. 124. Man verfertige sich ein messingenes Rohr von etwa 1 Zoll Durchmesser mit einem genau passenden Auszugrohr nach Art eines Zugfernrohrs. Das äußere Rohr hat eine Länge von 10 Zoll, das innere eine Länge von 11 Zoll. Dieser Apparat ist in der Figur XXVII im Durchschnitte vorgestellt. An dem vorderen Theile a des inneren oder Zugrohres ist ein kurzes, etwa 1 Zoll langes Rohr b genau passend eingeschoben, in dessen vordere Oeffnung bei b eine Linse als Okular eingesetzt ist, deren Brennweite 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll beträgt. Es ist besser die Brennweite dieser Linse länger zu wählen, damit die Vergrößerung nicht zu stark und das Bild undeutlich werde. In dem Zugrohre ist bei mn ein Diaphragma mit einem Fadenkreuze befestiget. Die Punkte mn, durch welche die auf die

Axe des Rohres senkrechte Ebene geht, in welcher das Fadenkreuz liegt, sind außen auf dem Rohre bezeichnet. Um diese letzteren Punkte genau zu bestimmen, muß man von dem Diaphragma an bis an die Kante des Rohres a genau messen, wodurch man dann die Punkte m und n außen auf dem Rohre genau bestimmen kann.

§. 125. Ist das Rohr nun so vorgerichtet; so befestigt man das, wie in der ersten Methode vorbereitete Plankonvexglas, als ein Objektiv, an der vorderen Oeffnung des Rohres pq, indem die Planseite nach Außen gewendet ist. Man sieht nun durch das Okular auf das Fadenkreuz, und richtet ersteres durch herausziehen oder hineinschieben des kleinen Rohres so, daß man das letztere vollkommen deutlich erblickt. In dieser Lage bleibt es unverrückt stehen. Man betrachtet nun mit dem Rohr den Mond oder die Sonne, (im letzteren Falle muß das Okular mit einem grünen Glase bedeckt werden) und schiebt das Zugrohr so lange aus und ein, bis man den Rand jener Körper durch die Mitte der Objektivlinse, die man hier ebenfalls mit einer Blendung bedeckt, wie in der ersten Methode, vollkommen deutlich und scharf abgeschnitten erblickt. Man bemerkt nun auf dem Zugrohre die Stellen rs, welche das äußere Rohr in dieser Stellung auf demselben abschneidet; und mißt die Längen mr und rp, welche zusammen die gesuchte Fokaldistanz der Linse bilden. Die Länge des Rohres rp kann ein für allemal bestimmt seyn, und wenn man das Zugrohr von Außen mit einer genauen Theilung versieht; so wird die Messung dadurch mehr abgekürzt und erleichtert.

Beispiel. 1) Die bei der ersten Methode gebrauchte Plankonvexlinse von Spiegelglas wurde in diesem Apparate als Objektivglas verwendet. Ein Mittel aus mehreren Beobachtungen gab die Fokaldistanz = 15′′.442. Wird sonach von

0.9030900

abgezogen deren log. = 1.1887035

so bleibt 0.7143865 — 1 = log. 0.51807.

Folglich ist der Brechungsinder = 1.5180.

2) Auf dieselbe Art wurde auch die Fokaldistanz des Plankonverglases von Flintglas aus Nro. II gemessen. Sie fand sich im Mittel mehrerer Beobachtungen = 12′′60. Also von 0.9030900

ab 1.1003703

gibt 8027197 — 1

= log. 0.63493. Folglich ist der Bechungsinder dieses Glases = 1.6349.

Dritte Methode.

§. 126. Hierzu bedient man sich wieder des bei der ersten Methode beschriebenen Apparates Fig. XXVI. Man spannt über den Rand v des Rohres F ein Papier, auf welchem sich eine feine und scharfe Schrift, entweder aus einem gedruckten Blatte befindet, oder welche mit der Feder und Tusche fein geschrieben ist. An dem Rande o der Röhre E befestiget man die zu untersuchende Linse.

Man richtet nun ein gewöhnliches achromatisches Taschenperspektiv oder Fernrohr so vor, daß man das Auszugrohr des Okulars genau so stellt, daß man einen sehr entfernten Gegenstand, oder die Mondscheibe vollkommen deutlich dadurch sieht, in welchem Falle dann das Okular gegen das Objektiv diejenige Stellung hat, die es zum deutlichen Sehen haben muß, wenn, wie bei der zweiten Methode, Parallelstrahlen auf das Objektiv fallen.

Nach dieser Vorbereitung stellt man den Apparat horizontal auf einen Tisch, und legt vor denselben in gleicher Höhe

und Richtung das achromatische Fernrohr auf eine passende Unterlage, so daß die Axe des Fernrohrs in einer Linie mit der Axe der beiden Röhren des Apparats mn liegt. Das Objektiv des Fernrohrs kann nahe an den Rand der Röhre E gebracht werden. Man betrachtet nun durch das ruhig liegende Fernrohr und durch die Probelinse die kleine Schrift, die übrigens gut beleuchtet seyn muß, in der Hülse F, nachdem diese vorher beiläufig in die der zu suchenden Fokaldistanz entsprechende Entfernung von C gebracht und festgestellt worden ist, und rückt mittelst der Schraube des Apparats die Hülse C so lange hin und her, bis man die kleine Schrift völlig deutlich, nämlich völlig scharf in den Umrissen begränzt, erblickt. Die Entfernung der Linse von dem Papier ist nun, wie in der ersten Methode, die gesuchte Fokaldistanz.

§. 127. Der Grund dieser Methode ist für sich klar; denn da das Fernrohr so gestellt ist, daß nur die parallel auf das Objektiv fallenden Strahlen ein deutliches Sehen bewirken, so muß, wenn dieses deutliche Sehen, von den aus dem Gegenstande in F divergirenden Strahlen, folglich ihr Parallelismus eintritt, auch die Entfernung der Linse von dem Gegenstande der Brennweite derselben gleich seyn (Fig. IV).

Beispiel. 1) Die bisher gebrauchte Plankonvexlinse von Spiegelglas wurde auf die so eben beschriebene Weise in das Rohr E des Apparats eingesetzt, nachdem das Papier in dem Rohre F mit einer feinen Schrift versehen worden war, diese durch ein Ramsden'sches Rohr von 1 Fuß Länge (sammt Auszug) betrachtet, und durch die Schraube des Apparats die Entfernung so lange regulirt, bis die Schrift am deutlichsten erschien. Diese Entfernung vo oder die Fokaldistanz betrug genau gemessen, als ein Mittel aus mehreren Beobachtungen,

= 15.50 Zoll,

folglich von 0.9030900
abgezogen 1.1903317
bleibt 0.7127583 — 1 = log. 0.51613.

Also ergibt sich hieraus der Brechungsinder des Glases IV = 1.51613.

2) Dieselbe Flintglaslinse wurde nach eben dieser Methode untersucht. Als Mittel mehrerer Beobachtungen ergab sich die Fokaldistanz = 12.61 Zoll.

Also von 0.9030900
abgezogen 1.1007151
bleibt 0.8023749 — 1 = log. 0.6344.

Folglich gibt diese Beobachtung für das Flintglas II den Brechungsinder = 1.6344.

§. 128. Vergleicht man die Resultate dieser drei Methoden unter einander, so sind die Unterschiede nicht sehr bedeutend. Sie geben nämlich für

	das Spiegelglas IV	das Flintglas II
1)	1.51763	1.63324
2)	1.51807	1.63493
3)	1.51613	1.63441
Größter Unterschied =	0.00194	0.00169
Mittel =	1.51727	1.63419

Wir werden in der Folge sehen, daß die durch diese Methoden gefundenen Brechungsindices im Mittel von dem durch das von mir angegebene Instrument gefundenen nicht viel abweichen; so daß sich annehmen läßt, daß sie für den hier Statt findenden Zweck, zumal für die Berechnung kleinerer Objektive, brauchbar sind, wenn die Beobachtungen mit der nöthigen Sorgfalt und Genauigkeit angestellt werden, und wenn, was hierbei eine Hauptsache ist, man sich nicht bloß mit einigen Beobach-

tungen begnügt, sondern sie mehr vervielfältigt und besonders zu verschiedenen Zeiten wiederhohlt. Die letztere (dritte) Methode hat im Besonderen den Vorzug, daß man bei derselben nicht vom Sonnen- oder Mondesschein abhängig ist, und daher die Reihe der Beobachtungen beliebig vergrößern kann, um ein genaues Durchschnittsresultat zu erhalten.

B. Bestimmung des Brechungsinder aus der Vereinigungsweite von divergenten Strahlen.

§. 129. Bei dieser Methode fällt auf die Linse das divergente Licht einer Kerze oder Lampe auf, Statt wie in der ersten Methode das parallele Sonnenlicht. Das Bild der Kerzenflamme wird sonach auf dem Papiere des in der ersten und dritten Methode gebrauchten Apparates, verkehrt dargestellt, und sonach der Punkt gesucht, in welchem dasselbe am deutlichsten erscheint. Die Entfernung des leuchtenden Punktes muß hinlänglich groß genommen werden, damit das Bild klein werde (§. 55), um gehörig lebhaft zu erscheinen. Ich habe bei Beobachtungen dieser Art gefunden, daß die Fehlergränze in der Bestimmung des Vereinigungspunktes kleiner werde, wenn man nicht sowohl das Bild der Lichtflamme, als vielmehr einen in derselben befindlichen Schatten beobachtet. Zu diesem Ende stellt man nahe vor der Lichtflamme einen am obern Ende rechtwinklicht umgebogenen Draht so auf, daß das umgebogene Ende in beiläufig horizontaler Richtung vor der Lichtflamme vorbeigeht. Dieser Draht nun erscheint in der Lichtflamme des verkehrten Bildes als ein feiner schwarzer Streifen, dessen scharfe Begränzung sich leicht beurtheilen läßt. Durch dieses Mittel erhält man den Vereinigungspunkt innerhalb sehr enger Gränzen.

Der Brechungsinder wird hieraus nach den oben für divergente Strahlen gegebenen Formeln (§. 118) berechnet.

Uebrigens hat diese Methode, bei welcher man am besten gleichseitige Konvexlinsen anwendet, gegen die vorhergehenden den Nachtheil, daß die Dicke des Glases hier einen Einfluß hat, wenn die Entfernung des leuchtenden Punktes nicht sehr groß ist, und daß die Messung der Entfernung dieses Punktes von der Linse mit großer Genauigkeit nicht so leicht auszuführen ist, als die Messung der Entfernung der Linse von dem Bilde mittelst des Apparats. Wegen dieser Umstände sind nach dieser Methode Resultate von weniger Genauigkeit, wie mit den vorigen zu erhalten, und ich will sie daher nicht empfehlen, da sie überdem einen großen Raum erfordert, der nicht jedem zu Gebote steht. Beispiele zu derselben befinden sich oben bei Formel II, III, VIII.

Ferner kann man sich zu dieser Methode auch des vorher bei der zweiten Methode angegebenen Zugrohrs bedienen. Nachdem man das Okular desselben, wie oben angegeben, gehörig gestellt hat, betrachtet man durch die als Objektiv eingesetzte Plankonvexlinse, deren konvexe Seite nun nach Außen steht, einen entfernten Gegenstand, und richtet das Zugrohr, bis man diesen Gegenstand durch den Mittelpunkt der Linse so deutlich als möglich sieht. Man mißt nun die Entfernung dieses Gegenstandes von der Linse; diese ist die Entfernung des leuchtenden Punktes, welche in den obigen Formeln mit d bezeichnet ist: die Entfernung der Linse von dem Fadenkreuze ist die Vereinigungsweite f. Hieraus und aus dem bekannten Halbmesser der Linse ergibt sich nun der Brechungsinder nach Formel V, §. 118. Diese letztere Methode ist genauer, und kann auch dadurch bequem gemacht werden, daß man die Entfernung des Gegen-

standes von dem in einer festen Lage befindlichen Rohr ein für allemal genau abmißt.

Beschreibung eines Instrumentes zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisses zweier Glasarten.

§. 130. Bei der Ausführung des Instrumentes, welches ich hier beschreibe, war es meine Absicht, den Künstlern zur Bestimmung des Brechungsvermögens der Glasarten in derjenigen Genauigkeit, welche für die achromatischen Zwecke hinreichend ist, ein Werkzeug in die Hand zu geben, das 1) nicht kostspielig ist, und von jedem Künstler verfertiget werden kann, der einen Gradbogen genau einzutheilen, oder eintheilen zu lassen Gelegenheit hat; 2) das möglichst einfach ist, damit es von jedem Optiker gebraucht werden könne, ohne andere Geschicklichkeiten vorauszusetzen, als jene, die dieser schon an und für sich besitzen muß; 3) bei welchem endlich die Rechnungen so viel möglich erleichtert werden. Ich glaube diese Vortheile in dem nachfolgenden Instrumente vereinigt zu haben.

§. 131. Die Figur XXVIII stellt dieses Instrument in seiner horizontalen Lage dar, in welcher es zum Gebrauche dient.

ABCD ist ein völlig ebenes Brett aus vollkommen trockenem Lindenholz, damit kein Werfen mehr Statt finde. Auf dieses Brett ist der etwa $\frac{1}{10}$ Zoll dicke und 1 Zoll breite messingene Bogen AD aufgeschraubt, welcher von A bis o in 90 Grade getheilt ist. Das Stück or, welches etwa 25° faßt, braucht nicht eingetheilt zu seyn.

In dem Mittelpunkte dieses Bogens c befindet sich ein stählerner, etwas konischer, genau runder Zapfen, welcher oben

mit einer Schraube versehen, und in 1) für sich abgebildet ist. Dieser Zapfen paßt genau in das Centralloch des Lineals cb, welches aus zwei Streifen starken Messingblechs besteht, welche senkrecht aufeinander gelöthet sind, um das Biegen zu verhüten. Es kann übrigens auch aus einem einzigen hinreichend starken Messingstreifen bestehen. Das Ende dieses Lineals b ist mittelst eines Ausschnittes mit einem Nonius versehen, und an der Kante b ist senkrecht ein etwa zwei Zoll hoher Messingstreifen befestiget, auf welchem eine senkrecht auf der Fläche des Brettes und genau über dem Nullpunkte des Nonius stehende Linie eingerissen ist. Ein ähnlicher gleich hoher Messingstreifen ist an der Stelle a an das Brett angeschraubt, auf welchem ebenfalls eine senkrechte, genau über dem Nullpunkte der Theilung stehende Linie eingerissen ist, und in welchem, in der nachher anzugebenden Höhe eine Diopteröffnung eingebohrt ist, so daß diese durch die gezogene Linie halbirt wird.

An eben dieses Brett ist das Holzstück F angesetzt, welches dicker ist, und dessen mit der Fläche des Brettes parallele Fläche mit dem Ende s der Schraube 1) gleich hoch oder etwas höher liegt. Auf diesem Holzstücke ist durch die beiden Bänder uu ein messingenes Rohr, 5 bis 6 Zoll lang, befestiget. Das eine Ende o dieses Rohres ist mit einem Deckel versehen, in dessen Mitte sich ein kleines Loch befindet; das andere Ende mn hat einen Absatz, damit ein ebenes rundes Glas darein eingesetzt werden könne. Der Durchmesser dieser Röhre, also auch des Glases ist 1 Zoll. Die Bänder uu lassen sich links und rechts etwas sammt dem Rohre verschieben, indem die Schrauben, welche sie festhalten, durch Ausschnitte (Schlitze) gehen. Vermittelst dieser Schrauben sind die Bänder übrigens nur so fest angezogen, daß das Rohr sich, jedoch etwas strenge, um seine Axe drehen läßt.

Das Glas, welches an der vorderen Fassung mn, welche senkrecht auf die Axe des Rohres eingedreht ist, eingesetzt wird, muß mit ebenen und parallelen Flächen versehen seyn. Der Mittelpunkt desselben ist mit einem feinen Punkte bezeichnet, und durch diesen Punkt wird eine gerade Linie mittelst einer stählernen Spitze gezogen, so daß diese ein Durchmesser des kreisförmigen Glases ist. Es ist nicht nöthig, daß dieses Glas in einer eigenen Fassung festgehalten werde; sondern man kann es in den Absatz mn einlegen, so daß dessen vordere Fläche vor demselben noch ein wenig hervorsteht, und es in dieser Stellung durch etwas eingelegtes Wachs befestigen.

Die senkrechte Hälfte der Diopter b wird mit einem in einer geraden Linie abgeschnittenen weißen Papierstreifen bedeckt, dessen gerade Kante genau auf die in diesem Diopter eingerissene senkrechte Linie fällt: die andere Hälfte der Diopter bis an diesen Strich bedeckt man mit einer schwarzen Farbe.

Das feststehende Diopter a überzieht man an der dem Planglase entgegenstehenden Seite mit einem feinen weißen Papier, auf welchem eine schwarze gut begränzte Linie gezogen ist. Diese Linie muß genau über die auf dem Messingstreifen gezogene senkrechte Linie des Diopters fallen, oder sie muß genau auf dem Nullpunkte der Theilung stehen, und auf der Fläche des Brettes senkrecht seyn. Die Visieröffnung in diesem Diopter, welche in dieser Linie eingestochen wird, ist eben so weit von der Fläche des Brettes entfernt, als der Mittelpunkt des Planglases von demselben, so daß die Linie oa der Fläche des Brettes parallel ist. Durch diese Visieröffnung zieht man auf dem weißen Papier senkrecht auf die schwarze Linie, eine schwarze Querlinie. Diese Visieröffnung befindet sich am oberen Ende der Diopter.

Bei dem Instrumente, dessen ich mich bedient habe, ist

die Länge der Regel cb, oder der Halbmesser des Bogens 18 Zoll (eine Länge von 15 Zoll würde ebenfalls hinreichend seyn): jeder Grad ist in 6 Theile getheilt; also von 10 Minuten zu 10 Minuten; 29 dieser Theile machen 30 Theile des Nonius; die Ablesung geht also auf 20 Sekunden, was für diesen Zweck mehr als hinreichend genau ist.

Man könnte dieses Instrument noch vervollkommnen, oder die Genauigkeit der Beobachtung noch vergrößern, wenn man in die Diopter a ein kleines Fernrohr einsetzte, auf die Art, als dieses bei dem Spiegelsextanten der Fall ist. Dadurch wird man in den Stand gesetzt, das Uebereinanderfallen der Bilder in dem Glase mn (wie dieses aus der nachfolgenden Beschreibung des Gebrauches erhellen wird), auf das genaueste zu beobachten, und dadurch die mögliche Fehlergränze des Instrumentes zu vermindern. Ich habe jedoch mit diesem Instrumente stets mit freiem Auge beobachtet, und lege es auch in diesem Zustande den Künstlern vor, um es so wenig als möglich zu kompliciren, besonders da die Einsetzung eines solchen Fernrohrs, dessen Axe in der senkrechten Ebene der Linie ao stehen muß, und dessen Durchmesser höchstens einen halben Zoll betragen kann, keinen Schwierigkeiten unterliegt, und von jedem Künstler, dessen Auge etwa nicht Stärke genug hat, vorgenommen werden kann.

Gebrauch des Instruments zur Bestimmung des Brechungsvermögens.

§. 132. Um das Brechungsvermögen eines Glases zu bestimmen, ist es vor allem nothwendig, aus demselben ein keilförmiges Prisma herzustellen, dessen brechender Winkel beyläufig 30 Grade beträgt. Die passendste Größe eines solchen Prisma

ist $\frac{3}{10}$ Zoll Breite und $\frac{4}{10}$ bis $\frac{6}{10}$ Zoll Länge. Es ist also hierzu nur ein kleines Stückchen Glas erforderlich. Man verfährt nun damit auf folgende Weise.

1) Man befestige zuerst das Prisma auf dem Planglase. Man nimmt zu diesem Behufe das Glas aus der Fassung mn des Rohres, legt es auf das ebene Brett, legt das Prisma so auf dasselbe, daß die auf dem Planglase gezogene Linie pq hinter die Kante io des brechenden Winkels des Prisma fällt, jener Kante jedoch so viel möglich parallel wird; und befestigt das Prisma in dieser Stellung durch etwas Wachs, das man an jeder Seite des Prisma anlegt, und dasselbe zugleich mit diesem mittelst des Daumen und des Zeigefingers auf das Glas niederdrückt. Dadurch behält das Prisma seine Stellung, und liegt mit der unteren Seite fest auf dem Glase auf, dessen Biegung durch das ebene Brett verhindert wird. Das Planglas mit dem Prisma ist Figur XXVIII 2) vorgestellt. Man muß dafür Sorge tragen, daß das Prisma mit der unteren Fläche überall genau an der Fläche des Glases anliege.

2) Man setzt nun das Glas mit dem Prisma in die Fassung des Rohres mn ein, so daß die Linie pq eine senkrechte Lage hat, und man schiebt nun das Rohr E so weit gegen den Zapfen c vorwärts, bis der Theil der vorderen Fläche des Prisma, welcher auf der Linie pq auf dem Glase liegt, über dem Mittelpunkte des Zapfens c steht. Man visiert hierauf durch die Oeffnung o, und richtet das Rohr E durch Drehen um seine Axe, oder durch eine geringe Bewegung seitwärts so lange, bis der auf dem Glase befindliche Strich die senkrechte schwarze Linie des Diopters a, sowohl am untern als oberen Theile genau deckt, und die schwarze Querlinie auf dieser Diopter, welche durch die Visieröffnung derselben geht, durch den Mittelpunkt des Glases läuft. Nunmehr versichert man sich, daß der

Durchschnitt pq der vorderen Fläche des Prisma genau über dem Mittelpunkte des Zapfens c liege, indem man die scharfe Kante einer messingenen Regel an das Prisma an der Stelle, wo die Linie pq dasselbe durchschneidet, anlegt, wornach der Endpunkt derselben auf den Mittelpunkt des Zapfens treffen muß. Ist dieses nicht ganz der Fall; so wird durch geringes Vorwärts- oder Rückwärtsschieben des Rohres nachgeholfen. Hierauf visiert man neuerdings durch o, um sich zu versichern, daß die senkrechte Linie der Diopter noch durch den Strich auf dem Glase gedeckt wird.

3) Man visiert hierauf durch die Diopter a den Strich auf dem Glase: fällt dieser mit dem senkrechten Striche der Diopter, deren Bild in dem Glase als in einem Spiegel erscheint, zusammen; so steht die Glasfläche senkrecht auf der Linie oa, wie es seyn soll. Ist dieses aber nicht der Fall, sondern der Strich auf dem Glase und das Bild des Dioptersriches stehen parallel neben einander; so wird das Glas rechts oder links etwas niedergedrückt, so daß es sich um die Linie pq als einer Axe dreht; bis die beiden Linien genau einander decken.

4) Man muß sich nun noch versichern, ob die Kante io des Prisma (Figur 2) der senkrechten Linie pq vollkommen parallel sey, weil eine Unrichtigkeit in dieser Stellung einen Fehler in der Bestimmung dieses brechenden Winkels hervorbringen würde. Dieses geschieht dadurch, daß man die Regel bc mit der Diopter b über a hinaus bis nach r führt, während man durch die Oeffnung o visieret. Es erscheint nun vermöge der Brechung durch das Prisma das Bild dieser Diopter neben der Diopter a, welche man zugleich durch das Planglas sieht. Erscheint nun das Bild der Diopter b in gleicher Höhe mit der Diopter a, so daß die obere Kante derselben eine fortlau-

fende gerade Linie bildet, so ist die Stellung des Prisma auf dem Glase richtig. Ist diese Höhe aber verschieden, so muß das Prisma auf dem Glase ein wenig nach der einen oder andern Seite verschoben werden, bis die Höhe der beiden Dioptern gleich wird.

Wenn es nöthig war, diese Korrektion vorzunehmen; so muß auch die vorhergehende wegen der richtigen Stellung des Glases wiederhohlt werden.

5) Das Instrument ist nun vorgerichtet, um den Winkel des auf dem Glase befestigten Prisma zu messen. Für diesen Fall muß das Prisma diejenige Lage haben, wie in Fig. 2, nämlich die Kante desselben gegen A gerichtet seyn.

Man visiert nämlich durch die Oeffnung der Diopter a, während man die Regel mit der Diopter b so lange gegen A bewegt, bis man in dem Prisma die Kante des Papierstreifens in der Mitte der Diopter b (durch Reflexion von dessen vorderer Fläche) erblickt. Man stellt nun das Lineal durch geringes Vor- und Zurückschieben so, daß die Kante jenes Papierstreifens mit der Linie pq, welche das Bild der Diopterlinie a deckt, genau zusammenfällt. Man lieset hierauf den Winkel ab, welchen der Nullpunkt des Nonius abschneidet. Die Hälfte dieses Winkels ist der brechende Winkel des Prisma.

Diese Beobachtungen werden mehrmals wiederhohlt, und aus denselben das Mittel genommen. Um Fehler zu vermeiden, muß man bei denselben immer darauf sehen, daß die Linie auf dem Glase mit der senkrechten Linie auf der Diopter a genau zusammenfällt, und daß von der Visieröffnung a aus der senkrechte Strich auf dem Glase von dem reflektirten Striche der Diopter a genau gedeckt bleibe. Damit die reflektirten Bilder möglichst deutlich werden, müssen die beiden Dioptern dem

Lichte ausgesetzt, das Rohr E aber in den Schatten gestellt werden.

6) Um nun gleichfalls den gebrochenen Winkel oder den Ablenkungswinkel (§. 10) zu erhalten, dreht man das Rohr E um seine Axe, bis das auf dem Glase befestigte Prisma die umgekehrte Lage erhalten hat, nämlich die Kante io desselben nach B zu gerichtet ist. Man muß sich nun wieder versichern, a) daß der Strich auf dem Glase mit dem Striche auf der Diopter a zusammenfällt, b) daß der Durchschnitt der vorderen Fläche des Prisma von der Linie pq genau über dem Mittelpunkte des Zapfens stehe, c) und daß von a aus visiert, der Strich auf dem Glase und der reflektirte Strich der Diopter a einander genau decken.

Hierauf visieret man durch die Oeffnung des Rohres o, während man das Lineal cb so lange gegen a bewegt, bis man die Diopter b vermittelst der Brechung durch das Prisma erblickt. Man stellt nun das Lineal durch kleine Bewegungen so, daß die Kante des weißen Papiers, welche die senkrechte mittlere Linie dieser Diopter bezeichnet, genau auf die auf dem Planglase befindliche Linie fällt. Man lieset nun den Winkel ab, welchen der Nullpunkt des Nonius abschneidet. Dieser Winkel ist der gebrochene oder der Ablenkungswinkel.

Auch diese Beobachtungen werden mehrmals wiederhohlt, und aus denselben das Mittel genommen.

7) Da nunmehr der brechende Winkel des Prisma, welcher hier dem Einfallswinkel gleich ist, und der gebrochene Winkel gefunden sind, so erhält man den Brechungsindex, indem man den Sinus ihrer Summe durch den Sinus des brechenden Winkels dividirt (§. 15). Es sey nämlich der gefundene brechende Winkel des Prisma = m; der gefundene gebrochene

Winkel = n; so ist der Brechungsinder

$$= \frac{\text{sinus } (m+n)}{\text{sinus } m}.$$

§. 133. Beispiel I. Ein Prisma aus Flintglas Nr. II wurde auf die angegebene Weise auf das Brechungsvermögen untersucht.

a) Bestimmung des brechenden Winkels.

Der von dem Instrumente angegebene doppelte Winkel war

59° 40′, 59° 40′, 59° 40′.

Nachdem die Korrektionen neuerdings waren vorgenommen worden, betrug der Winkel

59° 41′, 59° 41′, 59° 40′ 59° 40′.

Nachdem die Adjustirung noch einmal verändert und vorgenommen worden war, war der Winkel

59° 39′½, 59° 41′, 59° 41′½.

Das Mittel aus diesen zehn Beobachtungen ist

= 59° 40′ 22″

folglich der brechende Winkel

= 29° 50′ 11″.

b) Bestimmung des gebrochenen Winkels.

Dieser Winkel wurde gefunden:

24° 40′, 24° 41′, 24° 39′, 24° 38′,
24° 39′, 24° 41′, 24° 39′, 24° 41′.

Das Mittel = 24° 39′ 45″

c) folglich ist der Brechungsindex dieses Glases

$$= \frac{\text{sin. } 54° 29′ 56″}{\text{sin. } 29° 50′ 11′}$$

Nimmt man die Logarithmen dieser Sinusse aus den Tafeln, so ist

9.9106800
— 9.6968175
0.2138725 = log. 1.6363.

Also der Brechungsinder = 1.6363.

§. 134. II. Ein Prisma aus Spiegelglas Nr. VI.

a) Bestimmung des brechenden Winkels.

Der von dem Instrumente angegebene doppelte Winkel war

61° 10′, 61° 10′, 61° 10′ 61° 10′

Also das Mittel = 61° 10;

folglich der brechende Winkel = 30° 35′ 0″

b) Bestimmung des gebrochenen Winkels.

Dieser Winkel wurde gefunden:

20° 32′, 20° 33′, 20° 32½″, 20° 32′, 20° 32′.

Also das Mittel = 20° 32′ 18″

c) Es ist also der Brechungsinder

$$= \frac{\sin. 51° 7' 18''}{\sin. 30° 35' 0''}$$ oder

9.8912461
— 9.7065394
0.1847067 = log. 1.5300.

Also der Brechungsinder = 1.530.

Man kann auf diese Art den Brechungsinder einer Glasart sehr genau bestimmen, wenn man die Beobachtungen vervielfältigt, und die Einrichtung zu denselben einigemal umändert, nämlich das Prisma von dem Glase abnimmt, neuerdings auflegt, und so weiter, wie dieses in dem vorigen Beispiele geschehen ist.

§. 135. III. Ein Prisma aus Spiegelglas Nr. IV.

a) Bestimmung des brechenden Winkels.

Der von dem Instrumente angegebene doppelte Winkel war im Mittel

$$= 61^\circ\,14'\,24'';$$

folglich der brechende Winkel

$$= 30^\circ\,37'\,12''$$

b) Bestimmung des gebrochenen Winkels.

Dieser Winkel war im Mittel

$$= 20^\circ\,0'\,0''.$$

c) Es ist also der Brechungsinder

$$= \frac{\sin.\,50^\circ\,37'\,12''}{\sin.\,30^\circ\,37'\,12''} \text{ oder}$$

9.8881335

9.7070093

0.1811242 = log. 1.5175;

also der Brechungsinder = 1.5175.

Dieser Brechungsinder stimmt mit demjenigen, welcher oben (§. 128) aus den Fokaldistanzen im Mittel gefunden worden ist (1.5173), beinahe ganz überein; der für das Flintglas Nr. II hier gefundene Brechungsinder 1.6363 weicht dagegen von dem oben auf dieselbe Art im Mittel gefundenen (1.6342) mehr ab, wovon der Grund darin liegt, daß jene Messung mittelst der Fokaldistanzen für ein Glas von so geringem Zerstreuungsvermögen, wie dieses Glas Nr. IV, genauer ist, als für Gläser mit so bedeutender Zerstreuung, wie Flintglas, indem diese Abweichung noch die einzige ist, welche dort Einfluß hat (§. 123).

§. 136. Die Theorie des Verfahrens mit diesem Instrumente beruht auf folgenden Gründen.

In der Figur XXIX sey MN ein Planspiegel, auf welchem das Prisma co befestiget ist, dessen Kante c in der Ebene liegt, welche durch die auf den Spiegel senkrechte Linie cd ge-

legt werden kann. cp sey die senkrechte auf die Seite co des Prisma, und in c liege die Durchschnittslinie der Kante des Prisma mit der Spiegelfläche; so ist der Winkel pcd, welcher von den zwei Perpendikeln pc und dc eingeschlossen wird, dem Winkel c des Prisma gleich. Man visiere nun aus dem Punkte d auf die äußerste Kante c des Prisma, bis ein Gegenstand in h in dieser Kante sichtbar, oder durch dieselbe halbirt wird; so ist der Winkel hcd gleich dem doppelten Winkel c des Prisma. Denn da pc das Perpendikel auf die Fläche des Prisma co ist, und bei der Reflexion der Einfallswinkel dem Zurückstrahlungswinkel gleich ist: so ist hcp = pcd, folglich pcd = $\frac{1}{2}$hcd.

Bei dem Instrumente wird die Reflexion nicht unmittelbar an der Kante des Prisma gemessen, weil diese Kante selten so richtig zugeschärft ist, als es für eine richtige Halbirung des Bildes erfordert wird, und ich habe die dort angegebene Methode genauer gefunden.

§. 137. Die Bestimmung des gebrochenen oder Ablenkungswinkels mit dem Instrumente beruht auf folgendem Grunde. (Fig. XXX.)

Das Rohr E sey vorn mit einem Planglase mn versehen, welches auf der Axe so genau senkrecht steht. Das Prisma abc sey vor demselben so aufgestellt, daß die Seite ab desselben mit der Glasfläche mn genau parallel ist, oder auf derselben unmittelbar aufliegt. Der Strahl so erleidet also nur Eine Brechung an der schiefen Seite ac. Das Einfallsloth ist ip; der Einfallswinkel ist piO = u; OiM = w ist der gebrochene Winkel, und piM = piO + OiM der Brechungswinkel. Nun ist aber der Einfallswinkel u gleich dem brechenden Winkel des Prisma a. Denn es ist o + a + v = v + i + u, oder o + a = i + u; es ist aber o = i, weil beide rechte Win-

kel; folglich a = u. Demnach ist der Brechungswinkel = a + w; folglich der Brechungsinder = $\frac{\text{sin.}(a + w)}{\text{sin.}a}$.

§. 138. Man kann sich der hier gegebenen Theorie bedienen, um den Brechungsinder ohne Beihülfe eines getheilten Instrumentes zu bestimmen. Man zieht nämlich auf einem Tische die Linien hd und cd genau senkrecht aufeinander Fig. XXIX; stellt den mit dem Prisma versehenen Spiegel MN vertikal auf der Tischplatte auf, so daß die Kante des Prisma über dem Punkt c senkrecht steht: stellt hierauf in d eine mit einer kleinen Oeffnung versehene Diopter auf, visiert auf den Spiegel, und drückt ihn rechts oder links nieder, bis das Bild der Diopter durch die Kante c halbirt wird: dann ist dc senkrecht auf MN, und MN parallel zu hd. Man verrückt nun auf der Linie hd von d nach h einem senkrechten Gegenstand, z. B. einen polirten Messingdraht oder eine kleine Lichtflamme, bis man ihn durch die Diopter d an der Kante c halbirt sieht (oder bis die eine Hälfte des Bildes auf die Kante des Prisma fällt); so ist der Winkel hcd der doppelte Winkel des Prisma. Man mißt daher genau das Perpendikel cd, eben so die Linie hd; letztere ist die Tangente des Winkels hcd, wenn cd als der Radius genommen wird. Gesetzt, cd betrage $23\frac{1}{4}$ Zoll, und hd = 43 Zoll; so ist für cd = 1.0000, hd oder die Tangente von hcd = 1.8494 = der Tangente von 61°36′; folglich ist der brechende Winkel des Prisma = 30°33′.

Um nun den gebrochenen Winkel zu bestimmen, bedient man sich wie in Figur XXX des Rohres E, mit dem Planglase. Man stellt dasselbe horizontal fest, und visieret durch den Mittelpunkt des Glases den Punkt O auf einer gegenüberstehenden Wand. Man befestigt nun das Prisma auf dem Glase, mit derselben senkrechten Lage der Kante wie vorher,

so daß diese den Mittelpunkt des Glases durchschneidet, folglich der Punkt oder Gegenstand O durch das Glas auch nur zur Hälfte gesehen wird. Visiert man nun durch die Kante des Prisma; so kommt der Gegenstand M an die Stelle des Gegenstandes O. Bedient man sich für M und O zwei kleiner Lichtflammen; so sieht man die linke Hälfte von O und die rechte Hälfte von M, gleichsam ein ganzes Bild ausmachend, von denen die eine Hälfte durch das Glas, die andere Hälfte durch das Prisma gesehen wird. Man mißt nun genau die Entfernung iO, und die Linie OM; letztere ist die Tangente des gebrochenen Winkels für den Radius = iO; oder die Tangente des gebrochenen Winkels ist = $\frac{OM}{iO}$.

Ich habe mich dieser Methode mit verschiedenen Abänderungen bedient, um die Gränzen ihrer Genauigkeit zu beurtheilen. Wegen der genauen Messungen, die mit derselben verbunden sind, und dem bedeutenden Einflusse der Fehler in diesen Messungen steht jedoch diese Methode dem Gebrauche des Instrumentes weit nach.

Von der Bestimmung des Zerstreuungsvermögens der Glasarten.

§. 139. Wenn das Brechungsvermögen zweier Glasarten, aus denen ein achromatisches Objektiv zusammengesetzt werden soll, bestimmt ist, so bleibt noch die Bestimmung des Zerstreuungsvermögens eben dieser Glasarten übrig; und es ist hier vorzüglich wichtig, daß diese mit der möglichsten Genauigkeit geschehe, weil von derselben die Achromaticität allein abhängt, indem, wie früher erklärt worden, diese in dem Doppelobjektive nur dann vorhanden ist, wenn die Fokaldistanzen der beiden Linsen im Verhältnisse ihrer Zerstreuungskräfte stehen.

Da wie oben (§. 81) gezeigt worden, das Zerstreuungsverhältniß eines Glases gegeben ist, wenn man nebst dem mittleren Brechungsinder den Brechungsinder der äußeren Strahlen des Spektrums kennt, so kann das Zerstreuungsverhältniß gefunden werden, wenn man nach Fig. XX das Brechungsverhältniß dieser äußersten Strahlen, welche das in einem finsteren Zimmer entworfene Spektrum begränzen, bestimmt. Allein die Schwierigkeit solcher Beobachtungen, verbunden mit der Nothwendigkeit weitläufiger Vorrichtungen zur Anstellung dieser Versuche, machen diese Methode für den praktischen Künstler nicht wohl anwendbar. Ueberdem ist es für den vorliegenden Zweck nicht nothwendig, das Zerstreuungsvermögen jedes einzelnen Glases für sich zu kennen, sondern es ist nur die Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses der beiden Gläser zu einander erforderlich.

§. 140. Am leichtesten und sichersten wird dieses dadurch erhalten, daß man die beiden Gläser so verbindet, daß sie achromatisch werden, und hieraus ihr Zerstreuungsverhältniß bestimmt. Es ist nämlich früher gezeigt worden, daß, wenn man von zwei Glasarten von demselben mittleren Brechungsvermögen zwei Prismen auf einander legt, deren Winkel verschieden sind, und einander entgegen stehen, der Lichtstrahl aus diesen verbundenen Prismen farbenlos austrete, wenn die Winkel dieser Prismen im verkehrten Verhältnisse der Zerstreuungskräfte der Glasarten stehen; so daß sich das Zerstreuungsvermögen des Flintglases verhält zu dem Zerstreuungsvermögen des Spiegelglases, wie der Winkel des Prisma aus dem Spiegelglase zu dem Winkel des Prisma aus dem Flintglase. Eben so haben wir gesehen, daß rücksichtlich der Fokaldistanzen der beiden Linsen des achromatischen Objektivs dasselbe Verhalten vorhanden sey, indem sich das Zerstreuungsvermögen des Flintglases ver-

hält zu dem Zerstreuungsvermögen des Spiegelglases, wie die Fokaldistanz der Flintglaslinse zur Fokaldistanz der Spiegelglaslinse. Nach beiden Methoden kann also das Zerstreuungsverhältniß der beiden Glasarten gefunden werden.

Wir wollen zuerst von der letzteren Methode handeln, und dann zu der ersteren übergehen, nach welcher das Zerstreuungsverhältniß mit Hülfe eben desselben Instrumentes, welches vorher für die Bestimmung des Brechungsverhältnisses angewendet worden ist, gefunden wird.

Von der Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses durch ein Probeobjektiv.

§. 141. Man verfertige aus den beiden Glasarten, welche man zu Objektiven verarbeiten will, ein kleines Doppelobjektiv von höchstens einen Zoll Oeffnung, dessen beiden Linsen man beiläufig diejenigen Halbmesser geben kann, welche oben in einem Beispiele gegeben worden sind, so daß man jedoch den Halbmesser der ersten Fläche um ein paar Zolle kürzer nimmt. Man befestige dieses Objektiv in einem Rohr, das man mit einem stark vergrößernden Okular versieht, und wenn es an den Gegenständen, besonders an weißen Linien im dunkeln Grunde, z. B. an den scharfen Kanten eines Rauchfangs auf dem dunkeln Himmelsgrunde, die prismatischen Farben zeigt, so ändert man die erste Fläche oder die Vorderfläche der Spiegelglaslinse durch Verminderung ihrer Krümmung so lange, bis die prismatischen Farben verschwinden, und nur noch die feinen purpurnen und grüngelben Ränder des sekundairen Spektrums an einem weißen Objekt auf schwarzem Grunde beim Ein- und Ausziehen des Okulars erscheinen. In diesem Falle ist die größtmöglichste Entfärbung vorhanden. Das Objektiv ist sonach achroma-

tisch, und auf seine Fehler wegen der sphärischen Abweichung kommt es hier nicht an.

§. 142. Könnte man nun die Fokaldistanzen der beiden Linsen dieses Objektivs mit der hier erforderlichen Genauigkeit bestimmen; so wäre das Zerstreuungsverhältniß der beiden Gläser sogleich gefunden. Man könnte auch, nach den obigen Formeln, daraus den Brechungsinder bestimmen, wenn man genau die Halbmesser der Schalen bemerkt, nach welchen die Gläser zuletzt geschliffen und polirt worden sind. Allein es erhellet schon aus demjenigen, was oben über diese Bestimmungsweise gesagt worden ist, daß diese Methode, hier angewendet, nicht genau genug sey. Die Fokaldistanz der Spiegelglaslinse ist kurz, die Linse doppelt konvex, und die Glasdicke kann daher nicht vernachlässigt werden. Die genaue Bestimmung der Fokaldistanz der Konkavlinse ist noch schwieriger; denn um diese zu erhalten, muß der Lichtkreis auf dem Papiere genau das Doppelte des Kreises betragen, welcher auf der Linse das Licht durchläßt: diese Messung nun kann nicht genau seyn, wenn der Lichtkreis auf der Konkavlinse nahe am Mittelpunkte liegt, folglich nur klein ist: ist er aber größer, so kommt dabei die sphärische Abweichung wieder ins Spiel. Diese unmittelbare Messung der Fokaldistanzen kann daher zu keiner genauen Bestimmung führen, ist aber wohl zu einer annähernden Kenntniß des Zerstreuungsverhältnisses brauchbar.

Ich habe auch diese Methode versucht. Ein Probeobjektiv von 1 Zoll Oeffnung wurde so hergestellt, daß es nach der Probe mit einem achromatischen Okular, das hinreichend stark vergrößerte, achromatisch erschien. Die Konkavlinse war aus dem Spiegelglase Nr. IV, und die Flintglaslinse Nr. II. Die Fokallängen beyder Linsen wurden mit dem oben beschriebenen Apparate so genau wie möglich an der Sonne gemessen. Die Fokallänge der

Konvexlinse betrug hiernach 2″25, jene der Konkavlinse = 3″70; folglich ist das Zerstreuungsverhältniß

$$= \frac{2.25}{3.7} = 0.6081.$$

Das Zerstreuungsverhältniß dieser beiden Gläser auf dem beschriebenen Instrumente nach der später angegebenen Weise gefunden, war = 0. 5917.

§. 143. Auf folgende Weise kann man jedoch aus dem Probeobjektiv das Zerstreuungsverhältniß hinreichend genau bestimmen. Man bestimmt zuerst den Brechungsindex der beiden Glasarten auf die angegebene Weise, und sucht die Halbmesser der beiden Linsen des achromatischen Probeobjektivs nach dem bekannten Halbmesser der Schleifschalen auf das genaueste zu erhalten. Aus dem bekannten Brechungsindex und den bekannten Halbmessern berechne man nun nach den obigen Formeln die Fokaldistanz einer jeden Linse. Die kleinere Fokaldistanz durch die größere dividirt gibt das Zerstreuungsverhältniß.

Beispiele zu dieser Methode sind bereits oben §. 111 — 113 für die Fälle gegeben worden, in denen für Fraunhofer'sche Objektive das Zerstreuungsverhältniß der beiden Gläser berechnet worden ist.

Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses mittelst des beschriebenen Instrumentes.

§. 144. Genau und dem praktischen Gebrauche vollkommen entsprechend ist die Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses durch die Auffindung des Winkels, mit welchem ein Prisma in Verbindung mit einem andern von verschiedenem Winkel achromatisch wird. Wenn man ein Prisma aus Spie-

gelglas nimmt, und ein anderes aus Flintglas mit entgegengesetzter Lage des brechenden Winkels darüber legt, dessen Winkel um so viel geringer ist, als jener des Spiegelglasprisma, als dessen Zerstreuungsvermögen das des letzteren übertrifft (§ 91); so werden die farbigen Strahlen durch dasselbe wieder vereinigt, oder eine schwarze Linie auf weißem Grunde dadurch gesehen, erscheint ohne Farben an ihren Rändern.

Es würde jedoch zu mühsam und auch zu unsicher seyn, durch Abschleifen den Winkel des Flintglasprisma allmählich so weit zu vermindern, bis diese Farbenlosigkeit eintritt. Es gibt vielmehr ein anderes leichteres Mittel, diesen Winkel veränderlich zu machen, und ihn genau zu messen, nämlich dadurch, daß man über dem untern Prisma, welches unbeweglich bleibt, das Flintglasprisma, welches auf demselben liegt, in einem Bogen bewegt, so daß die Seitenkanten dieser Prismen, welche anfänglich parallel zu einander stehen, während dieser Bewegung immer größere Winkel miteinander machen, bis endlich die Kante des brechenden Winkels des obern Prisma mit der brechenden Kante des untern einen rechten Winkel macht.

§. 145. Die Figur XXXI 1) macht dieses deutlich. Das Prisma A ist das Spiegelglasprisma, und B das Flintglasprisma; die Flächen, in denen sich beide berühren, liegen beiläufig horizontal. Das Prisma A ist unbeweglich: das Prisma B aber werde so auf demselben bewegt, als wenn es um den Stift c, wenn dieser in dem untern Prisma senkrecht befestigt wäre, gedreht würde. In der Lage der Figur macht nun die Kante des oberen Prisma a′b mit der Kante des untern Prisma dc, mit welcher sie vorher parallel war, einen Winkel, oder wenn die Seitenkanten ad und a′d′ mit jenen brechenden Kanten einen rechten Winkel machen, und

vorher aufeinander fielen, so machen sie nun den Winkel dad'. In dem Maße nun, als dieser Winkel sich vergrößert, wird der brechende Winkel des Prisma für den Lichtstrahl, der durch dasselbe hindurchgeht, verringert; denn wenn in Figur 2) in dem Prisma abcd, dessen brechende Kante ab ist, die Linie, in welcher die Brechung erfolgt, in ao liegt, so ist es eben so viel, als wenn das Prisma mit der dieser Linie parallelen Kante mb versehen wäre, wornach der Winkel emd kleiner wird, als vorher ead, und das Prisma oder der Keil mehr zugeschärft wird.

§. 146. Ist der Winkel, um welchen das Prisma B aus der Lage, in welcher seine brechende Kante a'b mit der brechenden Kante des unteren Prisma ed parallel ist, gedreht werden muß, damit der Gegenstand durch dieselben farbenlos erscheine, = M; der brechende Winkel des Prisma B = B, und der Winkel, auf welchen dasselbe durch jene Verrückung vermindert wird, = b: so ist b = B. cosin. M.

Für 90° wird der Cosinus = o, also b = o; für o° der Cosinus = 1; also b = B. oder: wenn die brechende Kante des oberen Prisma mit der des unteren parallel steht; so hat das obere Prisma seinen natürlichen brechenden Winkel rücksichtlich des durchgehenden Strahls; stehen die beiden Kanten aber senkrecht aufeinander; so ist der Winkel b = o. Durch die Umdrehung des oberen Prisma von der ersteren bis zur letzteren Lage können also alle zwischen 90° bis o° liegende Winkel hervorgebracht, und sonach auch für die verschiedensten Glasarten die Winkel, welche die Achromaticität der Prismen bewirken, gefunden werden.

Z. B. Der Winkel M betrug für ein Spiegelglasprisma Nr. IV und ein Flintglasprisma Nr. II. = 64° 32' —.

Der brechende Winkel des Spiegelglasprisma = 30° 37′ 12″, der brechende Winkel B = 29° 50′ 11″; folglich ist

b = 29° 50′ 11″ Cos. 64° 32′ = 29° 50′ 11″ × 0. 4310 = 12° 51′ 37″; folglich hebt das Flintglasprisma mit einem Winkel von 12° 51′ 37″ die Farbenzerstreuung auf, welche das Spiegelglasprisma mit einem brechenden Winkel von 30° 37′ 12″ hervorgebracht hatte.

Wenn die Brechungsindices der beiden Glasarten mit den brechenden Winkeln ihrer Prismen bekannt sind, so läßt sich sonach auf diese Weise das Zerstreuungsverhältniß genau und ohne Schwierigkeit finden, indem nichts weiter erforderlich ist, als die genaue Messung des Winkels M, um hiernach die nöthige Rechnung zu führen.

§. 147. Das bereits beschriebene Instrument wird zu dieser Bestimmung auf folgende Weise gebraucht.

Das Rohr E wird von dem Brette F weggenommen, und auf der Fläche dieses Brettes ein weißes Velinpapier aufgespannt, Fig. XXVIII 8., auf welchem eine schwarze Linie ab und genau auf dieser senkrecht mehrere dickere Linien mn gezogen sind. Die Kanten der letzteren müssen gehörig scharf seyn. Man befestiget das Papier auf dem Brette so, daß die Linie ab beiläufig in die Richtung der Linie ac des Instrumentes fällt.

Man steckt nun den in Fig. 4 abgebildeten mit einer Hülse versehenen Träger, welcher eine Länge von etwa 6 Zollen hat, auf den Zapfen des Instrumentes, über die Hülse des Lineals cb. Die Hülse dieses Lineals, mit welcher sie sich um den Zapfen c bewegt, und welche in Fig. 3 von der Seite vorgestellt ist, ist von Außen ebenfalls konisch gearbeitet, so daß die Hülse des Trägers 4 darüber paßt, und durch die Reibung an derselben festhält; daher dieser Träger mit

der Umdrehung des Lineals sich gleichfalls um den Mittelpunkt c dreht. Dieser Träger hat, wie die Figur zeigt, am oberen Ende eine mit einer Schraube befestigte Gabel, deren beide Arme mit zwei Schrauben i o versehen sind.

Ein zweiter Träger Fig. 5, welcher unten mit einer Schraubenmutter versehen ist, welche auf die Schraube s des Zapfens (Fig. 1 und 3) paßt, ist am oberen Theile mit dem Stücke mn versehen, welches durch zwei Stellschrauben festgehalten wird, so daß dieses Stück mittelst zweier Schlitze, in denen die Schrauben sich befinden, auf und nieder geschoben werden kann. Dieses Stück läuft am oberen Ende in eine Gabel aus, Fig. 6., deren beide Arme mit Schrauben versehen sind, welche eine zweite bewegliche Gabel festhalten. Dieser zweite Träger wird auf die Schraube des Zapfens fest aufgeschraubt, so daß die horizontale Gabel des unteren Trägers dieselbe Stellung hat, wie die Gabel des oberen Trägers.

Die untere Gabel ist dazu bestimmt, um das untere oder unbewegliche Prisma A (Fig. XXXI) mit etwas Wachs an den Seiten und an dem Rücken zu befestigen. Es wird so darauf gelegt, daß die brechende Kante desselben gegen das Brett F des Instruments zustehe, und die Gabel, auf welcher es liegt, wird so weit gehoben, daß die obere Fläche desselben beiläufig horizontal ist. Auf diese horizontale Fläche wird nun das Prisma B oder das Flintglasprisma so gelegt, daß dessen brechende Kante gegen die Diopter a des Instruments zusteht. Beide Träger, wie sie auf die Hülse Fig. 3 aufgesetzt sind, stellt die Fig. 7 vor, wo die Lage der beiden Prismen vorgestellt ist. Der Träger a, welcher auf die Schraube der Hülse Fig. 1 aufgeschraubt ist, hält das untere Prisma, welches in seiner Gabel befestiget ist; der Träger b,

welcher auf die Hülse Fig. 3 aufgesteckt ist, berührt mit den beiden Schrauben seiner Gabel das obere Prisma, welches mit entgegengesetztem Winkel auf dem untern liegt.

Bevor jedoch diese Auflegung des zweiten Prisma erfolgt, muß die Lage des unteren erst gehörig adjustirt werden. Dieses geschieht, indem man durch dieses Prisma hindurch auf die Linie ab Fig. 8 visiert, und zugleich diese Linie mit freiem Auge betrachtet (wo nämlich die Hälfte der Pupille auf das Prisma, die andere Hälfte auf die freie Linie gerichtet ist). Wenn beide Linien, nämlich die durch das Prisma und die frei gesehenen, nur eine einzige ausmachen, die ununterbrochen gerade fortläuft, so steht das Prisma richtig. In diesem Falle steht nämlich die brechende Kante dieses Prisma senkrecht auf der Linie ab. Ist dieses aber nicht der Fall, sondern beide Linien laufen parallel neben einander; so wird der Träger mit diesem Prisma ein wenig gedreht, bis das genaue Zusammenfallen der beiden Linien erfolgt.

Die obere Fläche dieses Prisma, wenn sie verlängert gedacht wird, muß ferner die Linie ab der Papierfläche unter einem rechten Winkel schneiden, oder mit andern Worten, die brechende Kante des Prisma muß mit der Papierfläche parallel seyn. Ist dieses nicht der Fall, so machen die beiden Linien (durchs Prisma und frei gesehen) wenn sie aufeinander fallen, einen Winkel miteinander. In diesem Falle muß das Prisma auf der einen oder anderen Seitenkante etwas gehoben oder niedergedrückt werden, bis die beiden Linien ihrer Länge nach einander vollkommen decken.

Durch diese beiden Adjustirungen ist man versichert, daß die brechende Kante des unteren Prisma sowohl die Linie ab unter rechten Winkeln schneidet, als auch daß sie mit

der Papierfläche parallel, daß sie folglich mit den senkrechten Linien mn dieser Fläche parallel ist.

Man legt nun das zweite Prisma, wie gesagt, unmittelbar auf die obere beiläufig horizontale Fläche des ersten Prisma, so daß es zwischen die obere Gabel zu stehen kommt, und nähert die beiden Schrauben dieser Gabel den beiden Seiten dieses oberen Prisma so, daß sie dieselben beinahe berühren, jedoch kein Einzwängen zwischen ihnen Statt findet; damit dasselbe sich auf die früher angezeigte Art drehen könne, durch sein eigenes Gewicht aber dessen untere Fläche mit der oberen des unteren Prisma stets in Berührung bleibe.

Man visiere nun durch die beiden Prismen hindurch auf die Linie ab der Papierfläche auf dieselbe Art, wie vorher bei dem unteren Prisma, und rücke nun das Lineal des Instruments, das man vorher auf die Diopter a oder etwas über dieselbe hinaus gestellt hatte, gegen A vorwärts, bis die beiden, durch die Prismen und frei gesehenen, Linien ab, wie vorher eine einzige fortlaufende Linie bilden. In diesem Falle stehen nun beide Prismen so übereinander, daß die Kanten ihrer brechenden Winkel unter sich und mit den Linien mn der Papierfläche parallel sind. Man bemerkt nun die Grade und Minuten, welche in dieser Lage des Lineals von dem Nullpunkte des Nonius abgeschnitten werden.

Betrachtet man durch die beiden Prismen in dieser Lage die Linien mn, (Fig. 8), so sind die beiden Seiten derselben mit starken farbigen Rändern versehen, und zwar ist an der linken Seite, wenn der Beobachter bei B steht, folglich das Lineal mit der linken Hand führt, das orange und roth, und an der rechten Seite, das blau und violett, während die Linie ab ganz farbenlos erscheint. Man bezeichne sich, (was schon vorher geschehen kann) unter diesen Linien diejenige, von

welcher eine gerade Linie bis zur unteren Fläche des unteren Prisma gezogen, mit dem senkrechten Träger dieses Prisma beiläufig einen Winkel macht, welcher dem Winkel dieses Prisma gleich ist. In diesem Falle nämlich treten die von der Linie m′n′ kommenden Strahlen senkrecht in die untere Fläche ein, was bei der nachfolgenden Rechnung vorausgesetzt wird. Man braucht daher nur, wie in Fig. 9, wo nn′ den Durchschnitt der Papierfläche und on die senkrechte Linie von dem unteren Prisma bis zu dieser Fläche vorstellt, diese senkrechte on zu messen, und für diese Größe als den Radius die Tangente für den Winkel des unteren Prisma aufzusuchen, welche an′ ist. Z. B. der Winkel des unteren Prisma sey 30°, dessen Tangente = 0.57 für den Radius = 1 ist; die Länge der senkrechten Linie on sey = 6 Zoll: so ist 1 : 0.57 = 6″ : x, oder x = 6 × 0.57 = 3″42. Diejenige Linie m′n′ also, von welcher die Strahlen auf die untere Fläche des unteren Prisma senkrecht auffallen, wenn die obere Fläche desselben horizontal oder mit der Papierfläche parallel ist, liegt von dem Träger des unteren Prisma oder von dem Zapfen des Instruments 3.42 Zoll auf der Papierfläche entfernt. Eben diese Linie m′n′ wird nun bei der nachfolgenden Beobachtung im Auge behalten.

Nachdem nun alles so vorbereitet ist, führt man das Lineal des Instrumentes auf dem Bogen langsam fort. Mit diesem Fortrücken, nämlich in dem Maße, als das obere Prisma sich dreht, vermindern sich die farbigen Ränder der Linie m′n′, zuerst verschwindet das starke Blau und Roth, dann das Lichtblau und Orange, dann erscheint schwaches Gelb und schwaches Blau, bis endlich auch diese verschwinden. In diesem Punkte sind die beiden Gränzen des Weiß an der schwarzen Linie von einander in der Farbe nicht zu unterscheiden, so daß die eine

Gränze weder eine bläuliche noch die andere eine gelbliche Schattirung hat, sondern beide Gränzen völlig weiß erscheinen. An diesem Punkte läßt man das Lineal ruhen, und liest die Grade und Minuten ab, welche von demselben auf dem Bogen abgeschnitten werden. Zieht man von diesen die Anzahl der Grade und Minuten ab, welche bei der ersten Stellung des Lineals bemerkt worden sind; so erhält man den Winkel M. Z. B. das Lineal zeigte bei der Stellung, von welcher man ausging, 5°20′, bei der letzten Stellung 67°40; so ist M = 62°20′.

Bewegt man das Lineal noch etwas weiter, nachdem die Farben verschwunden sind, so kommt nun auf der rechten Seite Gelb zum Vorschein, auf der linken Blau, also umgekehrt mit dem Vorigen. Diese Beobachtungen wiederhohlt man mehreremal, um für den Winkel M ein genaues Mittel zu erhalten. Man muß dabei Sorge tragen, daß die horizontalen Flächen der beiden Linsen miteinander stets in Berührung bleiben.

§. 148. Wäre nun für die Glasarten der beiden Prismen das Brechungsverhältniß dasselbe; so würde durch diesen gefundenen Winkel M nun auch das Zerstreuungsverhältniß dieser Glasarten ohne weitläufige Rechnung gegeben seyn. Denn da der Winkel des Flintglasprisma B mit dem Cosinus von M multiplicirt, den Winkel des Prisma B gibt, welcher die Farbenzerstreuung des Prisma A aufhebt (§. 146); so verhält sich die Zerstreuung des Prisma B zur Zerstreuung des Prisma A, wie der Winkel A zum Winkel B × cos.M; folglich wäre das Zerstreuungsverhältniß der beiden Gläser $= \frac{B \times \cos.M}{A}$.

§. 149. Allein der Umstand, daß das Brechungsvermö-

gen der beiden Prismen verschieden ist, wenn ihr Zerstreuungsvermögen bedeutender differirt, obgleich beide nicht einander proportional sind (§. 79), macht eine umständlichere Rechnung nöthig.

Nennt man den Brechungsinder des Spiegelglasprisma . . . . . A = n
jenen des Flintglasprisma . . . . . B = n′
den brechenden Winkel von . . . . A = A;
jenen von . . . . . B = B

so ist das Zerstreuungsverhältniß der beiden Glasarten

$$= \frac{n(n' - 1)}{n'(n - 1)} \left(1 - \frac{\text{tang.}(a - b)}{\text{tang.}a}\right)$$

In dieser Formel ist

$\sin a = \frac{n.\sin.A}{n'}$, und tang.b = tang.B cos.M.

§. 150. Da aus den Beobachtungen mittelst des Instrumentes die Werthe von n, n′, A, B und M bekannt sind; so läßt sich daher mit Logarithmen aus dieser Formel ohne Schwierigkeit das Zerstreuungsverhältniß berechnen.

Beispiel. Das nachfolgende Beispiel kann als Leitfaden für die Ausführung dieser Rechnung dienen.

Die beiden Prismen Nr. II und VI, von denen oben das Brechungsverhältniß bestimmt worden ist, wurden mit dem Instrumente auf ihr Zerstreuungsverhältniß untersucht.

Der Winkel M ergab sich durch wiederhohlte Messungen = 62°30′, 62°30′, 62°28′, 62°20′, 62°30′, 62°26′, 62°25′. Also das Mittel hieraus = 62°27′.

Es ist also

M = 62°27′ —
n′ = 1.636
n = 1.530

A = 30°35′ —

B = 29°50′11″.

Die Rechnung steht hiernach so:

log.sin.A = 9.7065394

+ log.n = 0.1846914

9.8912308

— log.n′ = 0.2084414

9.6827894 = log.sin.a, also a = 28°47′50″

log.tang.B = 9.7585302

+ log.cos.M = 9.6651329

9.4236631 = log.tang.b, also

b = 14°51′21″

28°47′50″

— 14°′21″′51

14°16′29″ = a — b.

log.tang.(a — b) = 9.4055716

— log.tang.a = 9.7401189

0.6654527 — 1 = log. 0.46287

von 1.00000

abgezogen 0.46287

bleibt 0.53713 = 1 — $\frac{\text{tang.}(a - b)}{\text{tang.}a}$

log.n = 0.1846914 log.n′ = 0.2137833

+ log.n′ — 1 = 0.8034571 — 1 log.n — 1 = 0.7242759 — 1

0.9881485 — 1 0.9380592 — 1

— 0.9380592 — 1

0.0500893

+ 0.7300794 = log. 0.53713.

0.7801687 — 1 = log. 0.60279.

Das Zerstreuungsverhältniß dieser beiden Glasarten ist sonach = 0.60279, oder abgekürzt = 0.603.

§. 151. Von Einigen wird das Zerstreuungsverhältniß auch durch $\frac{dn}{dn'}$, oder durch den Quotienten des Brechungsunterschiedes der äußeren Strahlen bei dem einen Glase durch den Brechungsunterschied der äußeren Strahlen bei dem zweiten Glase ausgedrückt. Um den Werth für dieses Verhältniß zu erhalten, darf man nur den so eben gefundenen Werth mit $\frac{n - 1}{n' - 1}$ multipliciren. Auch erhält man diesen Ausdruck des Zerstreuungsverhältnisses unmittelbar aus der nachstehenden Formel:

$$\frac{dn}{dn'} = \frac{n}{n'} \left(1 - \frac{\text{tang.}(a - b)}{\text{tang.}a}\right).$$

Wenn das Zerstreuungsverhältniß auf diese Art ausgedrückt wird; so steht für die Achromaticität des Doppelobjektivs dasselbe nicht im Verhältniß der Fokaldistanzen der beiden Linsen, wie dieses bei dem auf die gewöhnliche Art ausgedrückten Zerstreuungsverhältnisse der Fall ist (§. 92); sondern jenes Zerstreuungsverhältniß steht in dem Verhältnisse der Krümmungshalbmesser der äquivalenten gleichseitigen Linsen*). Man darf diesen Unterschied in der Bezeich-

---

*) Denn es ist $F : f = 1 : \frac{dn}{dn'} \cdot \frac{n' - 1}{n - 1}$, nach dem gewöhnlichen Ausdrucke. Nun ist für die gleichschenkliche äquivalente Linse $f = \frac{r}{2(n - 1)}$; folglich verhält sich

$$\frac{R}{2(n' - 1)} : \frac{r}{2(n - 1)} = 1 : \frac{dn}{dn'} \cdot \frac{n' - 1}{n - 1}.$$

Hieraus ergibt sich $r : R = \frac{dn}{dn'} : 1$, oder das Zerstreu-

nungsart des Zerstreuungsverhältnisses nicht übersehen, weil sonst manches unverständlich wird, oder Irrthum entstehen kann.

Auf diese Art ist man im Stande sowohl das Brechungs- als das Zerstreuungsverhältniß zweier Glasarten mittelst des angegebenen Instrumentes mit der erforderlichen Genauigkeit, ohne Schwierigkeiten und weitläufige Umstände zu finden. Das Instrument ist einfach, wohlfeil, und bei einiger Uebung mit Leichtigkeit und Sicherheit zu behandeln. Die Beschreibung ähnlicher Instrumente und ihrer Behandlung fällt immer etwas komplicirt aus: von derselben darf man sich nicht abschrecken lassen; die nähere Bekanntschaft mit dem Instrumente selbst und der Verfahrungsart löst alle Schwierigkeiten. Die Genauigkeit der Resultate, welche man durch dieses Instrument erhalten kann, habe ich durch vielfältige Versuche bewährt gefunden. Sein Gebrauch ist den praktischen Fähigkeiten jedes Optikers angemessen, und ich glaube, daß es in ihren Händen die Hindernisse überwindet, welche sich bisher in diesem schwierigen und delikaten Gegenstande ihrer Vervollkommnung entgegensetzten.

---

ungsverhältniß des Flintglases verhält sich zu jenem des Spiegelglases, wie der Halbmesser der gleichschenklichen Flintglaslinse, zu dem Halbmesser der gleichschenklichen Spiegelglaslinse.

Vierter Abschnitt.

Von der Einrichtung des Fernrohres und deren Bedingungen.

Einrichtung und Verhältnisse des astronomischen Fernrohres.

§. 152. Das Okular bildet den zweiten wesentlichen Bestandtheil eines Fernrohres: es ist das Vergrößerungsglas oder Mikroskop, durch welches das von dem Objektive dargestellte Bild betrachtet wird. Die richtige Anordnung dieser Okulare ist für ein vollkommenes Fernrohr wesentlich nothwendig, wie näher aus dem Nachfolgenden erhellen wird. Sie sind entweder einfach, und bestehen aus einer konvexen oder einer konkaven Linse; oder doppelt, indem sie aus zwei konvexen Linsen zusammengesetzt sind; oder dreifach, indem sie aus drei konvexen Linsen bestehen, oder endlich vierfach, durch die Zusammenstellung von vier konvexen Linsen. Das einfache aus einer konvexen Linse bestehende Okular bildet mit einem Objektiv zusammengestellt, das sogenannte astronomische Fernrohr, an welchem die Eigenschaften eines jeden Fernrohres überhaupt, und die wechselseitigen Beziehungen derselben nachgewiesen werden können, indem jedes zusammengesetzte Okular immer durch eine einfache äquivalente Linse vorgestellt werden kann, d. h. durch eine solche, welche mit dem zusammengesetzten Okular gleiche Fokallänge hat.

§. 153. Wenn, wie in Fig. XXXII und XXXIII senkrecht auf die Axe des Objektivs AB, also parallel mit dem letzteren die Konvexlinse bc so gestellt wird, daß ihr Brennpunkt in den Brennpunkt des Objektivs fällt, oder daß die Entfernung beider Gläser Oi der Summe ihrer Brennweiten gleich ist, so entsteht das Fernrohr mit einfachem konvexen Okular.

Der Weg der Strahlen in dieser Zusammensetzung ist in den beiden Figuren vorgestellt. a i d sind die durch den Mittelpunkt des Objektivs gehenden Hauptstrahlen, welche von dem Mittelpunkte und von zwei äußern Punkten des Gegenstandes kommen, der so weit entlegen ist, daß die von einem Punkte desselben ausgehenden und auf das Objektiv auffallenden Strahlen als parallel angesehen werden können. Die Strahlen f und g sind die dem in der Axe liegenden Hauptstrahl i i parallelen, aus demselben Punkte kommenden Strahlen, welche in dem Brennpunkte u die Axe durchschneiden, hier den Mittelpunkt des Bildes darstellen, und nach ihrer Brechung durch die Linse bc parallel, als ein aus parallelen Strahlen bestehender Büschel oder Cilinder bei I in das Auge treten, und sich auf der Netzhaut desselben wieder in einem Punkte vereinigen. Die Strahlen pq, Fig. XXXIII, sind die dem Hauptstrahl a parallelen Strahlen, welche aus dem unteren Punkte des Gegenstandes kommen. Sie durchschneiden sich, senkrecht über dem Brennpunkte auf der Axe, in dem Punkte C, wo sie den unteren Punkt des Gegenstandes abbilden, und treten hiernach gleichfalls als ein aus parallelen Strahlen bestehender Cilinder unter einem Winkel mit der Axe in das Auge, und vereinigen sich auf der Netzhaut desselben in dem Punkte n, welcher den unteren Punkt des Gegenstandes darstellt. Eben so sind die Strahlen r s die dem Hauptstrahl d parallelen Strahlen, welche aus dem oberen Punkte des Gegenstandes kommen, in

ihrem Brennpunkte D den oberen Punkt des Gegenstandes darstellen, und nach ihrer Brechung durch die Okularlinse, unter demselben Winkel, wie vorher, die Axe durchschneiden, als ein aus parallelen Strahlen bestehender Cilinder in das Auge gelangen, und auf der Netzhaut sich in dem Punkte m vereinigen, welcher den oberen Punkt des Gegenstandes darstellt.

Das Bild CD in dem Brennpunkte des Objektivs steht demnach verkehrt, und das auf der Netzhaut des Auges abgebildete aufrecht. Das Auge sieht daher den Gegenstand verkehrt, weil es gewohnt ist, den Ort eines Punktes, von welchem Strahlen sich auf der Netzhaut vereinigen, nach der Richtung dieser Strahlen anzunehmen. Da nämlich die Strahlen, welche den Punkt m bilden, von dem unteren Punkte des Objekts, nämlich in der Richtung em, und jene, welche den Punkt n bilden, von dem oberen Punkte des Objekts, nämlich in der Richtung bn, zu kommen scheinen, so erhält das Auge dieselbe Empfindung, als wenn es, ohne Gläser, den wirklich umgekehrten Gegenstand betrachtete.

§. 154. Sind die auf das Objekt fallenden Strahlen eines Punktes nicht parallel, sondern divergirend, weil sie von näheren Gegenständen kommen; so ist Ou die Vereinigungsweite des Objektivs, folglich größer, als die Brennweite; das Okular muß daher weiter von dem Objektiv entfernt werden, damit der Brennpunkt des Okulars in diesen Vereinigungspunkt falle, weil nur in diesem Falle ein deutliches Sehen Statt findet, indem letzteres parallel in das Auge kommende Strahlen erfordert. Wenn daher ein Fernrohr so gerichtet ist, daß man Gegenstände von mittlerer Entfernung deutlich dadurch sieht; so muß für nähere Gegenstände das Okular von dem Objektiv entfernt, für entferntere aber demselben genähert werden, wenn

das Sehen gleich deutlich seyn soll. Das Okular ist also zu diesem Behufe in dem Hauptrohr verschiebbar angebracht.

§. 155. Das Auge muß sich in dem Punkte I befinden, wenn dessen Pupille alle Strahlen auffangen soll, welche von den Gläsern durchgelassen, hier sich vereinigen. Denn die Betrachtung der Figur zeigt von selbst, daß, wenn das Auge dem Okular näher liegt, die äußeren Strahlen der von den äußeren Punkten des Objekts kommenden Strahlencilinder nicht mehr in die Pupille eintreten können, und daß dieses eben so der Fall sey, wenn das Auge weiter von demselben abgerückt wird. Durch den Verlust dieser Strahlen würde nicht nur das Gesichtsfeld, sondern auch die Helligkeit des Gegenstandes vermindert. Dieser Augenpunkt läßt sich auf folgende Art bestimmen. In der Figur XXXII kann der Punkt O des Objektivs, in welchem die Hauptstrahlen sich durchschneiden, als der leuchtende Punkt für diese auf die Linse be auffallenden Strahlen angesehen werden, für welche die Vereinigungsweite iI ist. Es gilt hier also die Formel (XIV)

$$f = \frac{dp}{d-p};$$

in welcher hier d die Summe der beiden Brennpunkte, oder $= p+q$ ist, wenn p die Brennweite des Objektivs, und q jene des Okulars bezeichnet. Die Entfernung des Augenpunktes von der Okularlinse ist also

$$= \frac{(p+q)q}{p}.$$

Z. B. die Brennweite des Objektives sey $=$ 24 Zoll $= p$, jene des Objektivs $= \frac{1}{2}$ Zoll $= q$, so ist die Entfernung des Augenwinkels

$$iI = f = \frac{12.25}{24} = 0.51 \text{ Zoll.}$$

Bei der Fassung des Okulars wird diese Entfernung in der Art berücksichtiget, daß das Auge, an dieselbe gelegt, in der berechneten Weite von dem Okular gehalten werde; weßhalb der Deckel des Okulars, in welchem sich die Oeffnung für das Auge befindet, in der halben Entfernung des Augenpunktes von der Okularlinse gestellt wird. Unter dieser Voraussetzung muß nun die Oeffnung in diesem Deckel wenigstens der Hälfte der Oeffnung der Linse gleich seyn, damit alle Strahlen durch dieselbe gehen können.

§. 156. Die Vergrößerung, welche durch ein optisches Werkzeug hervorgebracht wird, ist diejenige Zahl, welche angibt, wie oft der Winkel, unter welchem das Objekt in einer gewissen Entfernung gesehen wird, in dem Winkel enthalten ist, unter welchem es durch das Fernrohr oder Mikroskop erscheint.

In der Figur XXXII ist der Winkel, unter welchem das Auge aus der Mitte des Objektivglases O den Gegenstand sieht, der Sehewinkel für diese Entfernung, der dessen scheinbare Größe bestimmt. Dieser Winkel aOd ist eben derselbe, als der Winkel bOe, oder das Auge würde aus dem Punkte O den entfernten Gegenstand in derselben Größe sehen, als das Bild CD. Der Winkel bIe ist der Sehewinkel, unter welchem das Bild CD durch das Okular dem Auge erscheint: dieser Winkel ist dem Winkel CiD gleich, oder unter diesem Winkel wird der Gegenstand dem Auge aus dem Mittel der Linse i erscheinen. Die Vergrößerung ist also

$$= \frac{CiD}{COD} = \frac{Ciu}{COu}.$$

Diese Winkel, die bei Fernröhren nur klein sind, verhalten sich wie die Linien Ou und iu, oder wie die Brennweiten der beiden Gläser; folglich ist die Vergrößerung

$$= \frac{Ou}{iu} = \frac{p}{q}$$

oder: man erhält die Vergrößerung durch das einfache Okular, wenn man die Brennweite des Objektivs durch die Brennweite des Okulars dividirt.

Z. B. In dem vorigen Beispiele ist die Vergrößerungszahl

$$= \frac{24''}{0.5''} = 48.$$

oder das Fernrohr vergrößert den Gegenstand scheinbar 48mal nach der Dimension der Länge oder Breite.

§. 157. Auf folgende Weise läßt sich die Vergrößerung eines Fernrohrs bestimmen, wenn das Verhältniß der Brennweiten seiner Gläser unbekannt ist. Wenn das Objektiv gegen das Tageslicht gestellt ist; so erblickt man in der Mitte des Okulars einen kleinen leuchtenden Kreis. Dieser ist durch den Durchschnitt der durch das Okular in das Auge einfallenden Strahlencilinder gebildet; und eigentlich das Bild des Objektivglases selbst. Der Halbmesser dieses Kreises verhält sich, wie die Fig. XXXII zeigt, zur Brennweite des Okulars, wie sich der Halbmesser des Objektivs zu seiner Brennweite verhält; folglich gibt der Durchmesser des Objektivs durch den Durchmesser des leuchtenden Kreises dividirt, ebenfalls die Vergrößerungszahl. Z. B. der Durchmesser des Lichtkreises im Okular betrage $\frac{1}{2}$ Linie; die freie Oeffnung des Objektivs sey 24 Linien: so ist die Vergrößerung = 48. Die Genauigkeit dieser Methode hängt von der Genauigkeit ab, mit welcher der Lichtkreis auf dem Okular gemessen wird, wozu man sich eines auf Glas fein getheilten Mikrometers bedienen kann.

Eine andere Methode, die jedoch nur eine annähernde Schätzung erlaubt, besteht darin, daß man einen mit gleichen Intervallen abgetheilten Gegenstand, z. B. eine Ziegelmauer,

mit dem einen Auge durch das Fernrohr, und zugleich mit dem anderen frei betrachtet, und bemerkt, wie viel einzelne Ziegeln von dem durch das Fernrohr vergrößerten Ziegel bedeckt werden. Eben so viel beträgt die Vergrößerung. Es gehört hierzu einige Uebung. Genauer wird diese Methode, wenn man sich einen Gegenstand eigends hierzu vorrichtet, z. B. in gleichen Entfernungen in einer Reihe neben einander gesteckte Stäbe.

§. 158. Was die Größe der Breite der Okularlinse eb oder ihre Oeffnung betrifft, so ergibt sich aus Figur XXXII, daß diese ein gehöriges Verhältniß haben müsse, damit sie die sämmtlichen von dem Objektiv kommenden Strahlen aufzufangen vermöge. Denn wäre diese Linse kleiner, so würde sie die von den äußersten Punkten kommenden Hauptstrahlen ab, de nicht mehr aufzufangen im Stande seyn. Die halbe Oeffnung dieser Linse = bi ist die Tangente des Winkels bOi, oder es ist $bi = (p+q)\varphi$, wenn der Winkel bOi mit φ bezeichnet, und wie bei diesen kleinen Winkeln gewöhnlich, der Bogen selbst Statt der Tangente genommen wird. Die Oeffnung des Okulars, und jeder in den Fernröhren verwendeten Linse überhaupt soll in der Regel nicht mehr betragen, als die Hälfte, höchstens $\frac{6}{10}$ des kleinsten Halbmessers ihrer Flächen, wobei die Oeffnung 30° bis 36° im Bogen hält, sonst werden die Einfalls- und Brechungswinkel zu groß, und die Strahlen kommen nicht, wie sie sollten, in Punkten derselben Ebene zusammen (§. 55); sondern das Bild wird gegen den Rand verzerrt, gekrümmt und undeutlich. Die Breite des Okulars wird übrigens etwas größer, als die zum Durchgang der Strahlen nöthige Oeffnung, da die Fassung etwas wegnimmt. Um die ganze Breite oder Oeffnung einer Linse von derjenigen zu unterscheiden, welche zum Durchgange der Strahlen nothwendig ist, nennt man letztere auch

die nützliche Oeffnung der Linse. In der Regel soll man die Linse nicht viel größer machen, als diese nützliche Oeffnung verlangt, weil die größere Breite wenigstens unnütz ist.

§. 159. Das Gesichtsfeld oder der Raum welcher durch das Fernrohr auf einmal übersehen wird, wird durch den Winkel bestimmt, welchen die von den beiden äußersten Punkten des Gegenstandes kommenden, und durch den Mittelpunkt des Objektivs gehenden Hauptstrahlen mit einander machen. Der Winkel aOd, oder die Hälfte desselben iOd = φ, oder der Winkel, welchen ein äußerster Hauptstrahl mit der Axe macht, bezeichnet also die Größe des Gesichtsfeldes.

Die Betrachtung der Figur XXXII zeigt von selbst, daß die Größe dieses Winkels nur allein von der Größe der Oeffnung der Okularlinse bc abhänge. Denn wird diese Linse verkleinert, so kommen die äußersten Hauptstrahlen, welche auf den Rand derselben treffen, näher aneinander und der Winkel φ wird verkleinert, also auch das Gesichtsfeld. Nach dem Vorigen ist die halbe Oeffnung des Okulars $x = (p + q)\varphi$, also $\varphi = \frac{x}{p+q}$. Für dieselben Brennweiten des Objektivs und Okulars vergrößert sich also das Gesichtsfeld im Verhältnisse der Vergrößerung der Oeffnung des letzteren, und die Größe der Oeffnung des Objektivs hat auf dasselbe keinen Einfluß. Da φ den Bogen in Minuten für den Halbmesser = 3438 Minuten anzeigt; so ist also $\varphi = \frac{x.3438}{p+q}$, wo x in Zollen gilt, wenn p und q in Zollen ausgedrückt sind.

§. 160. Diese Vergrößerung des Gesichtsfeldes durch die Vergrößerung des Okulars findet jedoch in dem vorhin erwähnten Umstande (§. 158) ihre Gränze; und ein größeres Gesichtsfeld muß daher der größeren Deutlichkeit aufgeopfert werden.

Dieser Nachtheil ist übrigens in den gewöhnlichen Fällen von keinem Belange, da durch das Fortrücken des Fernrohrs die anliegenden Gegenstände nach und nach in sein Feld gebracht werden können.

Man kann die halbe Oeffnung des Okulars, wenn dieses als plankonvex genommen wird, = o.3 seiner Brennweite, oder $x = \frac{3}{10} q$, die ganze Oeffnung also = $\frac{6}{10} q$ annehmen. Hiernach ist

$$\varphi = \frac{0.3q}{p + q} \cdot 3438.$$

Z. B. Nach der früheren Annahme von p und q ist

$$\varphi = \frac{0.5 \times 0.3}{24 + 0.5} = 0.00612;$$

diese Zahl mit 3438 multiplicirt, gibt φ, oder den halben Winkel des Gesichtsfeldes = 21.03 Minuten; folglich hat das ganze Gesichtsfeld bei der angenommenen Einrichtung = 42.06 Minuten.

§. 161. Da die Vergrößerungszahl, welche mit m bezeichnet werden soll, $= \frac{p}{q}$, folglich $p = qm$, also

$$\varphi = \frac{q.0,3}{qm + q} = \frac{0.3}{m + 1}$$

ist: so kann das Gesichtsfeld nach dieser Formel auch durch die anderwärts bekannte Vergrößerung bestimmt werden. φ ist dann in Minuten

$$= \frac{3438 \times 0.3}{m + 1} = \frac{1031.4}{m + 1}$$

Nachstehende Beispiele zeigen nach dieser Regel, wie sich bei dem einfachen Okular das Gesichtsfeld zur Vergrößerung verhalte. Es werde für ein Fernrohr das ganze Gesichtsfeld = 100 Minuten verlangt: so ist

$\frac{1031.4}{m+1} = 50$, oder $m = \frac{1031.4-50}{50} = 19.6$

für dieses Gesichtsfeld kann also die Vergrößerung nicht über 20 steigen:

für $\varphi = 40$ Minuten wird $m = 24.78$

für $\varphi = 30$ Minuten wird $m = 33.38$

für $\varphi = 25$ Minuten wird $m = 40.24$

Für eine 200fache Vergrößerung hat daher das Gesichtsfeld nur 10.36 Minuten, was beiläufig den dritten Theil des Durchmessers der Sonnenscheibe ausmacht.

§. 162. Die mehr oder minder starke Erleuchtung des durch das Fernrohr dargestellten Bildes bestimmt den Grad der Helligkeit desselben. Die Helligkeit des Bildes hängt bei gleicher Vergrößerung von der Oeffnung des Objektivs ab. Denn je größer in diesem Falle das Objektiv ist, desto größer, und zwar im Verhältnisse des Quadrates des Durchmessers, ist die Menge des Lichtes, welches aus demselben Gesichtsfelde durch das Okular in das Auge gebracht wird; desto heller und besser erleuchtet muß also auch das dargestellte Bild erscheinen. Die Helligkeit des Bildes in dem Fernrohr muß sich also in diesem Falle, d. h. bei gleicher Vergrößerung und bei gleicher Oeffnung des Okulars, wie das Quadrat des Durchmessers des Objektivs verhalten.

§. 163. Bei gleicher Oeffnung des Objectivs muß dagegen die Helligkeit des Bildes im Fernrohre mit der Vergrößerung abnehmen, und zwar im Verhältnisse der vergrößerten Fläche, folglich im Verhältnisse des Quadrates der Vergrößerungszahl m, da diese den Durchmesser der vergrößerten Fläche ausdrückt. Denn je mehr vergrößert der Gegenstand wird, desto mehr wird das von ihm ausgehende Licht auf eine größere Fläche verbreitet oder vertheilt, desto schwächer wird daher das Licht in jedem

einzelnen Punkte. Gesetzt, man betrachte den Mond durch ein Fernrohr, dessen Vergrößerung so eingerichtet ist, daß die Mondscheibe das Gesichtsfeld des Rohres gerade ausfüllt, so erhält das Okular und das Auge alle Strahlen, welche von der ganzen Mondscheibe auf das Objektiv auffallen. Nun werde bei derselben Oeffnung des Objektivs die Vergrößerung (durch Verkürzung der Brennweite des Okulars) viermal so groß; so wird man nun durch das Fernrohr nur den vierten Theil des Mondesdurchmessers, also nur den sechszehnten Theil seiner Fläche übersehen. Das gleich große Bild dieser Fläche wird also im Auge auch nur mit dem sechszehnten Theile des Lichtes erhellet seyn, als in dem ersten Falle. Das Bild wird daher bei gleicher Oeffnung um so dunkler, je mehr die Vergrößerung wächst, und zwar im Verhältnisse des Quadrates dieser Vergrößerung. Wenn also die Vergrößerung des Bildes in demselben Verhältnisse zunimmt, als die Vergrößerung der Oeffnung des Objektivs; so wird die Helligkeit des Bildes keine Veränderung erleiden.

§. 164. Es sey der Halbmesser des Strahlenkegels oder Strahlencilinders am Auge $= y$, und der Halbmesser der Oeffnung des Objektivs $= x$; so ist

$$y = x \cdot \frac{q}{p} \text{ (§. 157)},$$

oder da

$$\frac{q}{p} = \frac{1}{m},$$

so ist

$$y = \frac{x}{m}.$$

O bezeichne den Halbmesser der Augenöffnung: so verhält sich also die Dichtigkeit des Lichtes, welches auf das Objektiv auffällt, zu jenem, welches durch das Okular in die Augenöffnung tritt, wie $O^2 : y^2$. Die Helligkeit des Gegenstandes mit blo-

ßen Augen gesehen, verhält sich also auch zu der Helligkeit durch das Fernrohr wie

$$O^2 : y^2, \text{ oder wie } O^2 : \frac{x^2}{m^2}.$$

Folglich ist die Helligkeit durch das Fernrohr

$$= \frac{x^2}{m^2 \cdot O^2},$$

wenn die Helligkeit mit freiem Auge = 1 gesetzt wird. Nimmt man die halbe Augenöffnung O beim Sehen durch das Rohr zu $\frac{3}{100}$ = 0.03 Zoll an, wie ich sie aus vergleichenden Berechnungen verschiedener Fernröhre hergeleitet habe; so ist also die Helligkeit durch das Fernrohr

$$= \frac{x^2}{m^2 \cdot 0.0009},$$

wo x in Zollen auszudrücken ist.

§. 165. Z. B. die Oeffnung des Objektivs eines Fernrohres sey = 2.4 Zoll; seine Vergrößerung = 40; so ist die Helligkeit

$$= \frac{1.2 \times 1.2}{40^2 \times 0.0009} = \frac{1.44}{1.44} = 1.$$

Bei dieser Einrichtung ist also die Helligkeit durch das Rohr der natürlichen gleich; d. h. jeder einzelne Punkt des (vergrößerten) Gegenstandes wird durch das Fernrohr in derselben Helligkeit gesehen, als mit dem freien Auge bei der natürlichen Größe des Gegenstandes. In diesem Falle ist also $y = O$, oder der Durchmesser der Augenöffnung ist dem Durchmesser des in dieselbe tretenden Strahlencilinders gleich. Dieses ist also die größte Helligkeit, die das Rohr für terrestrische oder nicht mit eigenthümlichen Lichte versehene Gegenstände leisten kann. Denn

wird y oder $\frac{x}{m}$ größer als O; so nützt dieses nichts mehr zur

Vergrößerung der Helligkeit, weil die Strahlen des dickeren Lichtbüschels an der Augenöffnung vorbeigehen: es ist also auch für diesen Fall unnütz, zur Vergrößerung der Helligkeit für dasselbe Objektiv eine geringere Vergrößerung, oder für dieselbe Vergrößerung ein größeres Objektiv anzuwenden.

§. 166. Es ist daher am entsprechendsten, die geringste Vergrößerung des achromatischen Fernrohrs so zu nehmen, daß die Helligkeit durch das Rohr der natürlichen gleich ist. In diesem Falle ist

$$\frac{x^2}{m^2 . 0.0009} = 1, \quad \text{folglich} \quad m = \frac{x}{0.03}.$$

Z. B. das Objektiv habe 43 Linien = 3.583 Zoll Oeffnung; so ist die geringste Vergrößerung für dasselbe

$$= \frac{1.791}{0.03} = 59.7 \quad \text{oder} \quad 60.$$

Wenn der Gegenstand stark, unmittelbar von der Sonne, beleuchtet ist, so erträgt er eine stärkere Vergrößerung für gleiche Helligkeit; deßhalb versieht man das (terrestrische) Fernrohr noch mit einem zweiten Okular, das stärker, etwa in dem Verhältnisse wie 5:7, oder wie 2:3, vergrößert. Für astronomische Gegenstände werden die Vergrößerungen stärker, weil diese Gegenstände zum Theil eigenthümliches Licht haben; auch müssen sie verschiedenartiger seyn, weil die Lichtstärke der Himmelskörper sehr verschieden ist, und selbstleuchtende Körper, wie die Fixsterne, eine Vergrößerung ins Unendliche vertragen würden. Auch bei terrestrischen Gegenständen kann es öfters angemessen seyn, einen Theil der Helligkeit der stärkeren Vergrößerung aufzuopfern, wo man nämlich einen sehr entfernten Gegenstand, z. B. ein Schiff auf dem Meere, noch erkennen will, ohne daß vollkommene Deutlichkeit der einzelnen Theile erfordert wird.

Z. B. Das Fernrohr habe 29 Linien = 2.42 Zoll Oeffnung und vergrößere 55 Mal; so ist der Grad der Helligkeit $= \frac{1.464}{2.7225} = 0.53$ oder etwas mehr als die Hälfte der Helligkeit mit freiem Auge. Stärker mit der Vergrößerung zu gehen, als bis zur halben Helligkeit, ist nicht räthlich, weil der Gegenstand dann zu dunkel erscheint, wenn er nicht unmittelbar von der Sonne beleuchtet wird.

Von den Verhältnissen zwischen Brennweite und Oeffnung des Objektivs, Helligkeit, Vergrößerung und Gesichtsfeld des Fernrohrs.

§. 167. Man kann nunmehr übersehen, wie die verschiedenen Einrichtungen und Eigenschaften eines Fernrohrs miteinander zusammenhängen, und daß sie einander wechselseitig beschränken. Ein Ideal von Fernrohr würde außer dem völlig richtig und genau durch das Objektiv dargestellten Bilde ein großes Gesichtsfeld, eine sehr starke Vergrößerung, die größte Helligkeit bei einer geringen Fokalweite des Objektivs besitzen.

Allein es erhellet bereits aus dem Vorigen, daß ein großes Gesichtsfeld schon durch die Oeffnung beschränkt sey, die man dem Okular geben kann. Ueberdem hängt dasselbe von der Vergrößerung selbst ab, da $\varphi = \frac{0.3}{m + 1}$ ist; folglich das Gesichtsfeld um so kleiner wird, je mehr die Vergrößerungszahl m zunimmt.

Dasselbe ist mit der Helligkeit der Fall, die, wie wir gesehen haben, ebenfalls von der Vergrößerung abhängt.

§. 168. Die Vergrößerung selbst hat wieder ihre Be-

schränkung durch die verminderte Helligkeit bei gleicher Oeffnung des Objektivs. Um daher für gleiche Helligkeit die Vergrößerung vermehren zu können, muß die Oeffnung des Objektivs vergrößert werden. Es ist (§. 165) $m = \frac{x}{0.03}$, folglich

$x = 0.03m$; oder für die Helligkeit = 1 ergibt sich die der Vergrößerung m entsprechende halbe Oeffnung des Objektivs, wenn man m mit 0.03 multiplicirt.

Z. B. Ein Fernrohr soll für diese Voraussetzung eine 100fache Vergrößerung für irdische Gegenstände erhalten; so ist $x = 100 \times 0.03 = 3$ Zoll: die ganze Oeffnung des Objektivs sonach = 6 Zoll.

Oder: ein Fernrohr soll in der vorigen Voraussetzung mit einer 20fachen Vergrößerung versehen werden; so ist $x = 20 \times 0.03 = 0.6$ Zoll; die ganze Oeffnung folglich = 1.2 Zoll. Unter dieser Vergrößerung werden bei dieser Oeffnung der vergrößerte Gegenstand und dessen Theile noch mit derselben Helligkeit durch das Rohr gesehen, als in ihrer natürlichen Größe mit dem freien Auge.

§. 169. Die Fokaldistanz des Objektivs, von dessen Verhältniß zur Brennweite des Okulars die Vergrößerung abhängt, ist gleichfalls ein zu berücksichtigender Gegenstand. Es ist bereits früher angegeben worden, wie die beiden Abweichungen der Strahlen, die sphärische sowohl, als die chromatische mit der Oeffnung der Linse und mit ihrer Brennweite zusammenhängen. Wenn ein einfaches Objektiv in dem Rohre ein Bild entwirft; so ist dieses Bild mit den von den beiden Abweichungen herrührenden Undeutlichkeiten behaftet: wird es nun durch das Okular vergrößert, so vergrößern sich mit dem Bilde auch diese Undeutlichkeiten um so mehr, je stärker die Vergrößerung ist, so daß bei sehr starken Vergrößerungen dieses Bild endlich

kaum mehr erkannt werden kann, sondern sich in Nebel verwischt; indem die Abweichungskreise, in welche die Punkte des Bildes ausgebreitet sind, nun in ihrer ganzen Ausdehnung sichtbar werden.

Diese Fehler des Bildes durch das einfache Objektiv werden durch ein gehöriges Verhältniß zwischen der Oeffnung des Objektivs, dessen Brennweite und der Brennweite des Okulars oder der Vergrößerung vermindert. Hierauf gründen sich die Huygens'schen Regeln, nach welchen in verschiedenen Fernröhren

a) bei gleicher Deutlichkeit des Bildes durch gleiche Größe der chromatischen Abweichung, die Brennweiten der Objektive sich wie die Quadrate der Vergrößerungszahlen, die Vergrößerungen selbst also wie die Quadratwurzeln der Brennweite der Objektive verhalten.

b) bei gleicher Deutlichkeit und Helligkeit die Halbmesser der Oeffnungen der Objektive sich wie die Quadratwurzeln aus ihren Brennweiten verhalten, und

c) die Brennweiten der Okulare sich wie die Vergrößerungen oder wie die Quadratwurzeln aus den Brennweiten der Objektive verhalten.

Hiernach müssen einfache Objective für gleiche Deutlichkeit und Helligkeit eine große Fokallänge bekommen. Wenn z. B. ein solches Fernrohr von 4 Fuß Brennweite des Objektivs, mit 1.09 Zoll Oeffnung desselben, und bei 40 maliger Vergrößerung oder bei einer Brennweite des Okulars von 1.2 Zoll hinreichend deutlich zeigt; so muß für 4 Zoll Oeffnung des Objektivs eines anderen Rohres von derselben Deutlichkeit, die Brennweite 55 Fuß bei einer Vergrößerung von 148 oder einem Okular von 4.47 Zoll Brennweite betragen.

§. 170. Diese Regeln, welche sich auf die Verminderung der durch die Farbenzerstreuung hervorgebrachten Abweichung beziehen, haben jedoch auf die achromatischen Objektive wenig Anwendung. In diesen ist die Farbenzerstreuung nahe aufgehoben, und dasjenige, was von derselben durch das sekundaire Spektrum zurück bleibt, ist so unbedeutend, daß es bei den gehörigen Verhältnissen keinen merkbaren Einfluß hervorbringt. Wäre ein solches Objektiv von beiden Abweichungen vollkommen frei, so könnte die Oeffnung desselben bis zur Hälfte der kleineren Krümmungshalbmesser desselben (§. 158) vergrößert, daher die Vergrößerung verhältnißmäßig verstärkt werden. Diese Vergrößerung fände dann nur in der im Verhältnisse der Vergrößerung verminderten Größe des Gesichtsfeldes (§. 161) ihre Gränze.

Auch hat die zu starke Näherung des Bildes an das Okular den Nachtheil, daß zugleich mit dem Bilde auch der Staub und zufällige Unreinigkeiten und Fehler auf der Oberfläche des Okulars gesehen werden, wodurch die Deutlichkeit des Bildes beeinträchtiget wird. Ist das Bild sehr nahe an dem Glase, so nimmt der Strahlencilinder nur einen kleinen Theil seiner Fläche ein, und auch ein Stäubchen, ein Ritz oder ähnlicher kleiner Fehler hält schon einen bedeutenden Theil der einfallenden Strahlen auf. Man muß es daher vermeiden, zu den Okularen der Fernröhre Linsen mit zu kurzer Brennweite anzuwenden.

§. 171. Die sphärische Abweichung ist bei dem achromatischen Objektiv zwar auch beinahe ganz gehoben; jedoch bleibt auch bei der vollkommensten Ausführung noch ein Theil derselben zurück, (§. 98) der bei kleineren Oeffnungen und geringen Vergrößerungen zwar unmerklich ist, jedoch bei stärkeren Oeffnungen und Vergrößerungen empfindlich wird, da

die sphärische Seitenabweichung oder der Durchmesser des Abweichungskreises in dem Verhältnisse zunimmt, als der Kubus der Oeffnung wächst, und das Quadrat der Fokaldistanz abnimmt. (§. 73.)

Gesetzt, in einem Fernrohre von 1 Fuß Länge und 1 Zoll Oeffnung seyen durch das achromatische Objektiv die Abweichungen so aufgehoben, daß von der sphärischen nur ein so kleiner Theil zurückbleibe, der bei der bei diesem Rohre Statt findenden Vergrößerung ganz unmerklich ist. Es sey nun ein zweites Rohr von 4 Zoll Oeffnung und 2 Fuß Fokallänge des Objektives, welches verhältnißmäßig mit derselben Vollkommenheit ausgearbeitet seyn soll, als das erstere: so verhält sich die Undeutlichkeit wegen der Abweichung im ersten Rohr zu jener im zweiten, wie $\frac{1^3}{1^2} : \frac{4^3}{2^2}$, oder wie 1 : 16. Auch bei der gleichen Vergrößerung mit dem ersten Rohre erscheinen also in dem zweiten die Fehler der Abweichung 16 mal so stark. Da nun für gleiche Helligkeit die Vergrößerung der Oeffnung proportional ist (§. 166), folglich das zweite Rohr mit einer 4 mal so starken Vergrößerung als das erste Rohr, versehen seyn soll; so vergrößert sich der Fehler noch 4 mal; er erscheint also in dem zweiten Rohre 64 mal so groß, als in dem ersten. So gering dieser Fehler also seyn mag, so wird er dennoch unter dieser Vergrößerung merklich werden, und das Bild undeutlich und nebelig machen.

Hierzu kommt noch der gleichfalls unvermeidliche (§. 93) Rückstand von der chromatischen Abweichung, dessen Einfluß ebenfalls mit der Vergrößerung der Oeffnung zunimmt.

Außer dem Rückstande dieser Abweichung, der in der

Natur der Sache liegt, kommt hier noch die praktische Schwierigkeit, man dürfte sagen, Unmöglichkeit hinzu, den Gläsern vollkommen genau die berechnete Form zu geben, dabei noch abgesehen von der Schwierigkeit, ein vollkommen gleichförmiges und fehlerfreies Materiale zu finden, wie es die Rechnungen voraus setzen; woher es kommt, daß von Objektiven, die gleich achromatisch und nach gleichen Maßen hergestellt sind, das eine eine stärkere Vergrößerung erträgt, als das andere. Wenn daher nach einem achromatischen Objektive, das ein völlig deutliches Bild liefert, die Dimensionen anderer Fernröhre bestimmt werden sollen; so muß dieses nach der Bedingung der gleichen sphärischen Abweichung geschehen, wenn gleiche Deutlichkeit erzielt werden soll; indem die aus dieser entstandenen und auch zum Theil wieder die chromatische Abweichung zurückführenden Fehler hier den wesentlichsten Einfluß haben *).

---

*) Von einem bestimmten Fernrohre kann man sagen, daß in demselben die sphärische Abweichung des Objektivs vollkommen aufgehoben sey, obgleich diese Aufhebung bei dem Objektiv absolut nicht vorhanden ist, weil es hier nur auf die der Fokallänge und der Oeffnung des Objektivs entsprechende Vergrößerung ankommt. Denn die aus der sphärischen Abweichung entspringende Undeutlichkeit wird durch den Durchmesser des Abweichungskreises gemessen, welcher in dem von dem Objektiv dargestellten Bilde einen Punkt des Gegenstandes vorstellt. Ist dieser Abweichungskreis nun so klein, daß er bei einer bestimmten Vergrößerung durch das Okular in dem Bilde nicht gesehen werden kann; so wird er dem Auge immer nur als ein Punkt erscheinen, und sonach bei dieser Vergrößerung der Deutlichkeit keinen Eintrag thun; was aber der Fall seyn wird, sobald jener Kreis von dem Auge als ein unterscheidbarer Gegenstand wahrgenommen wird.

Nun lehrt die Erfahrung, daß ein Gegenstand unter einem Winkel von einer Minute von dem Auge noch gut wahr-

§. 172. Ist nämlich in einem Fernrohre die ganze Oeffnung des Objektives = y, die Brennweite desselben = p, die Vergrößerungszahl = m; so verhält sich für den gleichen Grad der Deutlichkeit wegen der sphärischen Abweichung, p^3 wie my^3, folglich bei gleicher Helligkeit p^3 wie y^4, oder der Kubus der Brennweite wie das Biquadrat der Oeffnung des Objektivs, daher $p = \sqrt[3]{y^4}$, oder die Brennweite verhält sich wie die Kubikwurzel aus dem Biquadrat der Oeffnung.

§. 173. Nach vergleichenden Versuchen und Beobachtungen genommen werden kann, auch wenn es ein dunkles Objekt auf hellem Grunde ist. Oben §. 73 haben wir gesehen, daß bei 4'' Oeffnung und 50'' Brennweite des einfachen Objektivs der Durchmesser des sphärischen Abweichungskreises = 0.00275 Zoll betrage. Nehmen wir nun an, daß bei einem aplanatischen Objektive die sphärische Abweichung oder der Durchmesser dieses Abweichungskreises um das Zehnfache, also auf 0.000275 Zoll vermindert sey; so wird derselbe, aus dem Mittelpunkte des Objektivs gesehen, einen Winkel von nahe $1\frac{1}{11}$ Sekunde einnehmen. Dieser Winkel ist in einer Minute 54.5mal enthalten. Bei einer Vergrößerung von 54.5mal wird also jener Abweichungskreis dem Auge als ein unterscheidbarer Gegenstand sichtbar werden; und sonach die Undeutlichkeit eintreten, und zwar um so mehr, je mehr hiernach die Vergrößerung wächst. Dagegen wird in diesem Fernrohre bei geringeren Vergrößerungen von der sphärischen Abweichung nichts zu merken seyn. Hieraus ersieht man deutlich die Art und Nothwendigkeit der Beschränkung in der Oeffnung des Objektivs und in der Verkürzung seiner Brennweite für bestimmte Vergrößerungen. Gesetzt, das Objektiv des eben genannten Fernrohrs vertrage eine 218malige Vergrößerung, ohne daß die sphärische Abweichung noch merklich würde; so würde diese Abweichung in demselben, gegen ein äquivalentes einfaches Objektiv betrachtet, um mehr als das 40fache vermindert seyn, und dieses Objektiv wäre daher für alle Vergrößerungen unter dieser Gränze als von dieser Abweichung völlig befreit anzusehen.

gen kann man annehmen, daß ein möglichst gut gearbeitetes achromatisches Objektiv von 19 Zoll Brennweite eine Oeffnung von 20 Linien, mit der dieser entsprechenden Vergrößerung, bei vollkommener Deutlichkeit vertrage. Wenn wir dieses Objektiv als Maßstab zu Grunde legen; so läßt sich nach der angeführten Regel für jedes andere Fernrohr von einer bestimmten Fokallänge des Objektivs für gleiche Deutlichkeit und Helligkeit (die gleich vollkommene Bearbeitung des Objektivs vorausgesetzt) die zugehörige Oeffnung desselben, und sonach die dazu gehörige Vergrößerung, folglich die Brennweite des Okulars bestimmen. Denn es verhält sich, das eben erwähnte Fernrohr zum Grunde gelegt, $19 : p = \sqrt[3]{20^4} : \sqrt[3]{y^4}$, wenn y die ganze Oeffnung des Objektivs in Linien bezeichnet, folglich ist

$$\log.y = 0.3419448 + \log. \sqrt[4]{p^3}.$$

§. 174. Nach dieser Formel ist die nachstehende Tafel berechnet, in welcher die erste Kolumne die Fokallänge des achromatischen Objektivs enthält, die zweite die zu dieser Fokallänge gehörige nützliche Oeffnung des Objektivs; die dritte enthält die zu diesen Dimensionen gehörige Vergrößerung für die Helligkeit = 1, also die geringste Vergrößerung für terrestrische Gegenstände (§. 166) nach der Formel $m = \frac{x''}{0.03} = \frac{x'''}{0.36}$ die vierte endlich enthält die stärkste astronomische Vergrößerung, welche zu der angegebenen Fokallänge und Oeffnung des Objektivs nach der Bestimmung in dem folgenden §. 175 gehört.

Brennweite des Objektivs in Zollen.	Oeffnung des Objektivs in Linien.	Terrestrische Vergrößerung für die Helligkeit = 1.	Stärkste astronomische Vergrößerung.
8″	10.45	14.5	—
12	14.17	21.8	—
16	17.58	24.4	—
20	20.78	28.8	90
24	23.83	33.1	108
30	28.17	41.2	135
36	32.31	44.9	157
42	36.25	50.3	189
48	40.07	55.6	216
54	43.78	60.8	243
60	47.37	65.8	270
72	54.32	75.5	324
96	67.40	93.6	432
120	79.68	110.6	540
144	91.35	126.8	648
168*)	102. 5	142.3	756

Für Brennweiten, welche hier nicht angegeben sind, kann die zugehörige Oeffnung und Vergrößerung leicht aus der vorigen Formel berechnet werden. Bei dem Gebrauche nimmt man die Zahlen der dritten und vierten Kolumne mit Weglassung des Bruches, wenn dieser weniger als $\frac{1}{2}$ oder mit Hinzufügung

*) Der große achromatische Refraktor Fraunhofer's in Dorpat, hat 160 Zoll Fokallänge und 108 Linien Oeffnung des Objektivs. Ist letztere ganz frei oder nützlich, so hat also der große Künstler durch die höchst sorgfältige Ausarbeitung des Objektivs dessen Brennweite etwas zu vermindern sich im Stande gesehen, um für die stärkste Vergrößerung mehr Helligkeit zu gewinnen. Nach §. 175 ist für dieses Rohr die stärkste Vergrößerung 720.

von 1, wenn er mehr als $\frac{1}{2}$ beträgt. Die Verhältnisse, welche diese Tafel gibt, sind das Maximum, das der Künstler, bei dem gegenwärtigen Zustande der wissenschaftlichen und technischen Hülfsmittel, für ein vollkommenes Fernrohr zu erreichen hoffen darf, und wir rathen demselben, sich nicht durch das natürliche Verlangen, sein Fernrohr für gleiche Oeffnung zu verkürzen, zu willkührlichen Abänderungen verleiten zu lassen, wenn er nicht Zeit und Kosten verlieren will.

§. 175. Die zweite terrestrische Vergrößerung ist, wie bereits oben bemerkt worden, beiläufig in dem Verhältnisse wie 5 : 7 stärker.

Die stärkste astronomische Vergrößerung, welche das Objektiv vertragen kann, hängt mit von seiner Vollkommenheit ab (§. 171), und muß daher durch Versuche bestimmt werden.

Je größer übrigens die Oeffnung des Objektivs ist, desto stärker kann diese Vergrößerung werden; desto mehr wächst also auch die astronomische Wirkung des Fernrohrs. Diese stärkste Vergrößerung findet wieder ihre Gränze in der Kürze der Brennweite des Okulars, die wenn nicht bedeutende Undeutlichkeit, Verzerrung des Bildes und beinahe Verschwindung des Gesichtsfeldes erfolgen soll, nicht unter $\frac{2}{9}$ Zoll gehen darf. Hiernach läßt sich bei Objektiven von gleicher Vollkommenheit die stärkste astronomische Vergrößerung für eine bestimmte Brennweite dadurch bestimmen, daß man diese Brennweite durch $\frac{2}{9}''$ dividirt. Also ist für die Brennweite eines Objektivs von 48 Zoll die stärkste astronomische Vergrößerung $= 48 : \frac{2}{9} = 216$.

§. 176. Die Abstufungen dieser Vergrößerungen werden so eingerichtet; daß die zweite um die Hälfte größer wird, als die erste, die dritte um die Hälfte größer als die zweite und die vierte um die Hälfte größer als die dritte. Oder wenn man

auf die eben angegebene Art die stärkste Vergrößerung gefunden hat; so gibt diese durch 1.5 dividirt, die nächst vorhergehende u. s. w. Z. B. die für die Brennweite von 48″ gefundene stärkste Vergrößerung 216 durch 1.5 dividirt gibt = 144; diese Zahl wieder durch 1.5 dividirt gibt = 96, diese wieder durch 1.5 dividirt gibt = 64; folglich ist die Reihe der Vergrößerungen 64; 96; 144; 216. Der Grund dieser Abtheilung wird weiter unten erhellen (§. 203).

Wegen dieser verschiedenen Vergrößerungen müssen die zum astronomischen Gebrauche bestimmten Fernröhre die ganze Oeffnung des Objektivs nach der Angabe der Tafel behalten; für Fernröhre zum irdischen Gebrauch, sowohl in ganzen Röhren, wie die Seefernröhre hergestellt, als durch Auszugröhren tragbar gemacht, wie die Zugfernröhre, können die Oeffnungen etwas vermindert werden, weil bei diesen nur eine einzige mäßige Vergrößerung angewendet wird.

§. 177. Die Vergrößerungen, welche Herr Fraunhofer seinen Fernröhren für irdische und astronomische Okulare gegeben hat, sind nach Herrn v. Utzschneider's Preiskourant folgende:

Länge des Fernrohrs.				Brennweite des Objektivs	Oeffnung desselben.	Terrestrische Vergrößerung.	Astronomische Vergrößerung.
				110″	78 Linien		62; 93; 140; 210; 320; 470.
				72″	52 —	80; 120.	64; 96; 144; 216; 324; —
				60″	48 —	66; —	54; 80; 120; 180; 270. —
Tubus	5	Fuß 4	Zoll	54″	43 —	60; 90.	48; 72; 108; 162; 243. —
	4	— 10	—	48″	37 —	57; 80.	64; 96; 144; 216. — —
	4	— 4	—	42″	34 —	50; 70.	54; 84; 126. * — —
	3	— 4	—	30″	29 —	42. —	60; 90. * — — —
	2	— 6	—	20″	21 —	28. —	40; 60. * — — —
Seefernrohr	4	— 1	—	42″	29½ —	55. —	
	3	— 1	—	30″	25½ —	40. —	
Zugfernrohr	2	— 3	—	20″	19 —	26. —	
	1	— 10	—	16″	15½ —	21. —	
	1	— 6	—	12″	13 —	15. —	

*) Das Sternchen zeigt an, daß die an diese Stelle gehörige stärkste Vergrößerung weggelassen sey, weil das Objektiv bei dieser Oeffnung sie nicht verträgt.

§. 178. Bei Kometensuchern ist eine geringe Vergrößerung ausreichend, aber ein großes Gesichtsfeld erforderlich, und eine große Oeffnung, damit von dem schwachen Lichte des entfernten leuchtenden Punktes möglichst viel Strahlen ins Auge gelangen. Fraunhofers Kometensucher haben bei 24 Zoll Brennweite und 34 Linien Oeffnung eine 10malige Vergrößerung.

Die Helligkeit ist sonach $= \frac{2.833^2}{10^2.0.0009}$ (§. 165) $= 22.28$

d. h. der leuchtende Körper erscheint $22\frac{1}{4}$mal so hell, als er mit freiem Auge gesehen würde. Das Gesichtsfeld wäre sonach für ein einfaches Okular $= \frac{1031.4}{m+1} = 187$ Minuten. Für ein doppeltes Okular ist dasselbe wie wir nachher sehen werden, doppelt so groß, oder etwa 6 Grade (§. 191).

Bei den größern Fernröhren ist die terrestrische Vergrößerung nach der Helligkeit $= 1$ genommen, folglich übereinstimmend mit der vorhergehenden Tafel (§. 174). Bei den zwei letzteren oder kleineren Zugfernröhren ist verhältnißmäßig die Vergrößerung geringer, das Gesichtsfeld dagegen größer, weil der Gebrauch dieser Röhren eine größere Uebersicht oder ein erweitertes Gesichtsfeld annehmlich macht.

Von den achromatischen Okularen.

§. 179. Das einfache Okular hat als Konverlinse den Nachtheil, daß es die von dem achromatischen Objektive kommenden Strahlen neuerdings wieder in Farben zerstreut, und daher die Deutlichkeit des Bildes, welches durch das Objektiv dargestellt worden ist, beeinträchtiget. Es verursacht daher einen farbigen Rand, und bringt, wenn auch nur zum geringen Theile, die Fehler zurück, welche man durch das achromatische Objektiv gehoben hat. Man braucht dasselbe für das

astronomische Rohr daher auch nur für die stärksten Vergrößerungen, für welche das zusammengesetzte astronomische Okular nicht mehr wohl anwendbar ist.

Man könnte zwar auch dieses einfache Okular achromatisch herstellen, nach derselben Weise, wie das Objektiv; so daß die chromatische und die sphärische Abweichung in demselben aufgehoben wären. Allein da, wie wir oben gesehen haben, die inneren Krümmungshalbmesser der beiden Linsen des achromatischen Objektivs viel geringer sind, als die Fokallänge des letzteren; so würden für eine kurze Brennweite, wie sie doch für starke Vergrößerungen nöthig ist, die Krümmungen der Linsen so stark werden, daß sie nur eine sehr geringe Oeffnung, folglich auch nur ein sehr geringes Gesichtsfeld gestatten. Man macht daher auch von dieser Einrichtung keinen Gebrauch, besonders da man im Stande ist, achromatische Okulare aus zwei und mehreren Linsen von demselben Glase zusammen zu setzen, welche allen Forderungen entsprechen.

§. 180. Die Herstellung dieser achromatischen Okulare oder Okularröhren, von welchen wir nunmehr handeln werden, ist für den Künstler sehr wichtig, und ein Fernrohr, das auch mit dem vollkommensten Objektive versehen ist, bleibt unvollkommen, wenn es ein nicht-achromatisches Okular hat. Ein solches Okular, einfach oder aus mehreren Linsen bestehend, zeigt auch bei dem achromatischen Objektiv, zumal bei größerem Gesichtsfeld und stärkerer Vergrößerung, starke Farben an den Rändern der Gegenstände. Die meisten Farben, welche in gewöhnlichen achromatischen Fernröhren sich darstellen, sind von dieser Art. Sie erscheinen außer dem Mittelpunkte des Gesichtsfeldes, während dieser rein ist: nur dann würden diese Farben auch in diesem Mittelpunkte selbst erscheinen, wenn die Axe der Okularlinse nicht durch dieses Centrum ginge. Auf diese

Art von Farben hat die Größe der Oeffnung des Objektivs keinen Einfluß; ihre Stärke hängt bloß vom Gesichtsfelde ab, das wieder von der Oeffnung des Okulars und der Vergrößerung abhängig ist.

§. 181. Das einfache Okular hat den Fehler der beiden Abweichungen; der chromatischen sowohl als der sphärischen. Beide Fehler werden durch eine zweckmäßige Zusammenstellung einzelner Linsen, oder durch zusammengesetzte Okulare aufgehoben, und zwar die sphärische Abweichung beinahe durch die Anwendung plankonvexer Linsen, welche nahe dieselbe geringe Abweichung geben, wie die Linsen von der besten Form (§. 76) und dadurch, daß die Brechung, welche bei einem einfachen Okulare Statt findet, auf zwei oder mehrere Linsen vertheilt wird; — die chromatische Abweichung aber durch die Stellung dieser Linsen in gehörigen Entfernungen von einander.

§. 182. Durch die Theilung der Brechung wird die Abweichung aus folgendem Grunde vermindert. In der Figur XXXII ist ifb der Sehewinkel, unter welchem das durch die Okularlinse vergrößerte Bild erscheint, oder wie schon bekannt ist, das Maß der Vergrößerung. Der Sinus dieses Winkels ist die halbe Oeffnung des Okulars bi. Nun verhält sich die Abweichung oder der Halbmesser des Abweichungskreises wie der Kubus der halben Oeffnung (§. 73 Anm.), also wie der Kubus des Sinus des Sehewinkels, oder da hier der Winkel Statt des Sinus gesetzt werden kann, wie der Kubus des Sehewinkels. Soll nun eben derselbe Winkel, also eben dieselbe Vergrößerung durch zwei Brechungen mittelst zweier Gläser hervorgebracht werden; so ist die Größe der Abweichung der Summe jener von den einzelnen Brechungen gleich, also der Summe der Würfel der beiden Winkel; so daß sich verhält: die Abweichung bei einer einzigen Linse

zu der Abweichung bei zwei Linsen, wie der Kubus der Summe der beiden Winkel zu der Summe des Kubus des ersten und des Kubus des zweiten Winkels. Die letztere Zahl ist kleiner, weil die Summe der Würfel der Theile kleiner ist, als der Würfel des Ganzen. Z. B. Der Sehewinkel, welcher die Vergrößerung bestimmt, sey = 1; also dessen Kubus = 1. Die Brechung werde in zwei gleiche Theile getheilt, so daß nämlich die Brechung durch das erste Glas eben so groß ist, als jene durch das zweite, für jedes Glas also = $\frac{1}{2}$ ist; so ist deren Kubus = $\frac{1}{8}$, und für beide zusammen = $\frac{1}{8} + \frac{1}{8}$ = $\frac{1}{4}$. Folglich verhält sich die Abweichung für Eine Linse zu der Abweichung für Zwei bei gleicher Vergrößerung = 1 : $\frac{1}{4}$; sie ist also im letzteren Falle nur der vierte Theil der ersten Abweichung. Eben so ist sie für drei Gläser der neunte Theil, für vier Gläser der sechszehnte Theil u. s. w., oder die Verminderung der Abweichung verhält sich wie das Quadrat der Anzahl der Gläser.

§. 183. Durch die Vermehrung der Anzahl der Linsen könnte man daher diese Abweichung noch weiter vermindern: die bei den Linsen zugleich Statt findende Zurückwerfung des Lichtes und die Fehler in den Gläsern selbst, welche den Durchgang und die ordentliche Brechung stören, machen jedoch hierin eine Gränze, und man wendet daher gegenwärtig nicht mehr als vier Linsen für das am meisten zusammengesetzte Okular an.

Die Linsen, welche für diese Okulare genommen werden, sind plankonvex, und in ihrer besten Stellung, wo ihre Abweichung sich zu jener der doppelt konvexen Linse nahe wie 1 : 1.5 verhält. Durch das vierfache Okular ist die Abweichung 16mal vermindert; also 16 × 1.5 = 24mal so gering, als sie bei einer einzigen doppelt konvexen Linse von derselben Vergrößerung seyn würde. Der Einfluß des Fehlers der sphärischen Ab-

weichung auf die Deutlichkeit des Bildes kann daher bei diesen Okularen so gut als aufgehoben angesehen werden.

§. 184. Auf welche Art die Abweichung wegen der Farbenzerstreuung bei den achromatischen Okularen aufgehoben werde, läßt sich folgendermaßen einsehen.

CDE (Figur XXXIV) sey die Axe des Fernrohrs, ST ein von einem außer der Axe liegenden Punkte des Objekts kommender und durch den Mittelpunkt des Objektivs gehender Hauptstrahl. Da dieses Objektiv achromatisch ist; so fällt der Strahl auf das Okular D, ohne in die prismatischen Farben zersetzt zu werden, er mag übrigens auch durch irgend einen andern Theil der Linse gehen. Das Okular D aber theilt den Strahl ST in die prismatischen Farben, und der rothe Strahl, als der weniger brechbare, wird nach der Richtung TR gebrochen, der violette aber nach der Richtung TV. Setzt man nun aber die zweite Linse E zwischen die erste Linse und die Vereinigungspunkte dieser beiden Strahlen; so fängt sie den rothen Strahl an dem Punkte m, und den violetten Strahl an dem Punkte n ihrer vorderen Fläche auf. Da nun der rothe Strahl Tm in die Linse E bei dem Punkte m, also weiter von der Axe als der violette Strahl eintritt, und hier der brechende Winkel der Linse, also auch die Brechung, größer ist, als bei n (§. 67); so ersetzt diese Vermehrung des brechenden Winkels für den rothen Strahl seine geringere Brechbarkeit; so daß er nun in der That so gebrochen wird, als wenn er eine größere Brechbarkeit gleich dem violetten Strahl besäße, und die Strahlen Tm, Tn treten nun aus der Linse E parallel in der Richtung mr und nv aus. Die chromatische Abweichung, welche immer dem Winkel, den die Strahlen mr, nv bilden, proportional ist, ist daher aufgehoben. Daß dieser Erfolg vollkommen Statt

finde, hängt daher von der Entfernung der beiden Linsen in Beziehung auf ihre Brennweiten ab. Wäre die Entfernung der beiden Linsen DE größer; so würden die Punkte m und n, an welchen die beiden Farbenstrahlen in die Linse treten, weiter auseinander liegen, der Unterschied in der Brechung beider durch die Gestalt des Glases also größer werden, als der Unterschied der Brechung durch die verschiedene Brechbarkeit, die austretenden Strahlen werden also nicht parallel seyn, sondern konvergiren, die Farbenzerstreuung ist überkompensirt. Im Gegentheile, wenn die Entfernung der Linsen kleiner wird, wird diese Zerstreuung zu wenig kompensirt, und die ausfahrenden Strahlen sind divergent. Es muß also zwischen zwei Linsen immer eine Entfernung geben, bei welcher die Farbenzerstreuung, welche die erste Linse hervorbringt, durch die zweite mittelst des Princips der sphärischen Abweichung wieder aufgehoben wird.

Von dem achromatischen Doppelokular.

§. 185. Das aus zwei plankonvexen Linsen bestehende achromatische Okular wird für astronomische Fernröhre angewendet. Es stellt, wie die einfache Linse, den Gegenstand verkehrt dar. Um die Eigenschaften dieses Okulars kennen zu lernen, wollen wir zuerst den gemeinschaftlichen Fokus zweier Linsen bestimmen.

In der Figur XXXV sind NN und GG die beiden Linsen des Okulars, welche so gestellt sind, daß die zweite Linse GG zwischen die erste Linse und deren Brennpunkt gestellt ist, ON ein mit der Axe parallel einfallender Strahl, welcher durch das erste Glas von N n [illegible] G, oder in der Richtung NF, und von dem zweiten nach dem Punkte f in der Axe gebrochen wird.

Es sey nun die gemeinschaftliche Brennweite of = y
die Brennweite CF der ersten Linse = F,
die Brennmeite der zweiten Linse = f,
die Entfernung der Linsen von einander = D;

so ist $$y = \frac{(F - D)\,f}{F + f - D}$$ *)

Setzt man in dieser Formel D = o, wenn nämlich die beiden Linsen einander berühren, so wird

$$y = \frac{Ff}{F + f},$$

welches die bereits oben (§. 95) für die Objektive gebrauchte Formel ist; in welcher jedoch, weil dort die eine Linse konkav ist, entgegengesetzte Zeichen vorhanden sind. **)

§. 186. Es sey nun x = Qf die Brennweite der äquivalenten einfachen doppelt konvexen Linse EE, d. h. derjenigen, welche dieselbe Fokallänge und denselben Gesichtswinkel ofG hat, als die beiden Linsen zusammengenommen, welche also dieselbe Vergrößerung leisten würde, als die beiden Linsen in ihrer Verbindung; so ist

$$x = \frac{Ff}{F + f - D}$$ ***).

---

*) Denn da der Strahl NG konvergirend auf die zweite Linse fällt; so ist oF = d die Entfernung des leuchtenden Punktes,

folglich $$d = \frac{fy}{f - y}$$ (Formel XIV.)

$$= CF - CO = F - D;$$ also

$$F - D \times f - y = fy,$$ folglich

$$y = \frac{(F - D)\,f}{F + f - D}.$$

**) Denn es ist dort F die Brennweite der konkaven Linse, also negativ; folglich

$$y = \frac{-Ff}{-F + f} = \frac{Ff}{F - f}.$$

***) Denn es verhält sich CF : OF = NC : GO = Qf : Of, oder

z. B. die Brennweite der ersten Linse sey = 2.5 Zoll, jene der zweiten = 1 Zoll, und die Entfernung beider voneinander = 2 Zoll; so ist die Brennweite der äquivalenten Linse

$$= \frac{2.5}{1.5} = 1\frac{2}{3} \text{ Zoll.}$$

Je geringer also die Entfernung wird, desto geringer wird die Brennweite der äquivalenten Linse, und sie wird am kleinsten für $D = o$.

Ist die Brennweite der äquivalenten Linse gegeben mit den Brennweiten der beiden Linsen, und es wird hiernach die Entfernung der beiden Linsen für jene Vergrößerung gesucht; so ist

$$D = F + f - \frac{Ff}{x}.$$

Von den beiden Linsen dieses Okulars sind die Planflächen dem Auge zugekehrt, welches sich in f befindet. Die Entfernung $of = y$ ist also auch die Entfernung des Auges von dem zweiten Glase.

§. 187. Damit nun die Stellung der beiden Gläser in Beziehung ihrer Fokallängen so erfolge, daß das Okular achromatisch werde, folglich die größte Deutlichkeit erlange; so muß die Brennweite der ersteren oder dem Objektiv zugekehrten Linse dreimal so groß seyn, als jene der zweiten Linse, und die Ent-

---

$F : F - D = x : y$, also

$$x = \frac{Fy}{F - D}.$$

Substituirt man in diesem Ausdrucke den oben angegebenen Werth von y; so wird

$$x = \frac{Ff}{F + f - D}.$$

Für $D = o$ wird also $y = x$, oder die Brennweite der doppelten Linse gleich jener der einfachen äquivalenten, wobei natürlich auf die Glasdicke keine Rücksicht genommen wird.

fernung der beiden Linsen von einander doppelt so groß, als die Brennweite der zweiten Linse, oder gleich zwei Drittheil der Brennweite der ersten Linse; so daß sich die Brennweite der ersten Linse, die Entfernung der beiden Linsen und die Brennweite der zweiten Linse zu einander verhalten, wie 3:2:1. Die absolute Brennweite der ersten Linse wird so genommen, daß sie $= \frac{2p}{m}$, oder der doppelten Brennweite des Objektivs, dividirt durch die Vergrößerungszahl gleich wird. *)

§. 188. Wenn man in der obigen Formel für die Brennweite der äquivalenten Linse hiernach Statt $f = \frac{F}{3}$, und für $D = \frac{2F}{3}$ setzt; so wird $x = \frac{F}{2}$; oder in diesem achromatischen doppelten Okular ist die Brennweite der äquivalenten einfachen Linse, welche für die beiden Linsen gesetzt werden könnte, um dieselbe Brennweite und denselben Sehewinkel zu geben, die Hälfte der Brennweite der ersten Linse des Doppelokulars.

§. 189. Da die Vergrößerung gleich ist der Brennweite des Objektivs, dividirt durch die Brennweite der äquivalenten einfachen Linse; so ist also auch die Vergrößerung durch

---

*) Genau ist die Brennweite der ersten Linse

$$q = \frac{2(m-1)}{m(m+1)} p;$$

die Brennweite der zweiten

$$r = \frac{2(m-1)}{m(3m-1)} p,$$

und $D = 2r$. Bei den Vergrößerungen, welche durch dieses Okular erhalten werden, sind jedoch diese Werthe von den oben angegebenen wenig verschieden, und letztere sind für die praktische Ausführung genau genug.

das Doppelokular

$$= \frac{p}{\frac{1}{2}F} = \frac{2p}{F};$$

oder gleich der doppelten Brennweite des Objektivs dividirt durch die Brennweite der ersten Linse des Okulars. Die Vergrößerung durch das Doppelokular ist also doppelt so groß, als sie durch die erste Linse allein seyn würde.

§. 190. Setzt man in der obigen Formel für y, welche den Ort des Auges hinter dem zweiten Glase angibt, gleichfalls Statt $f = \frac{F}{3}$, und Statt $D = \frac{2F}{3}$; so wird

$y = \frac{F}{6}$; oder die Entfernung des Auges von der Hinterfläche der zweiten Linse beträgt $\frac{1}{6}$ der Brennweite der ersten Linse.

§. 191. Da für dieselbe Vergrößerung die Brennweite der ersten Linse doppelt so groß ist, als die der einfachen äquivalenten, so kann also auch ihre Oeffnung (welche $\frac{6}{10}$ der Brennweite seyn kann (§. 158)) doppelt so groß gemacht werden, als bei der einfachen Linse für dieselbe Vergrößerung. Denn es sey die Brennweite der einfachen Linse $= q$, so kann ihre Oeffnung $= 0.6 \times q$ werden: Nun ist die Brennweite der ersten Linse des Doppelokulars $= 2q$; folglich kann ihre Oeffnung $= 0.6 \times 2q$ oder doppelt so groß werden. Da das Gesichtsfeld der Oeffnung dieser Linse proportional ist; so wird also auch durch dieses Okular das Gesichtsfeld verdoppelt (§. 159). Für dieses Okular ist daher das halbe Gesichtsfeld oder

$$\varphi = \frac{2 \times 3438 \times 0.3}{m+1} = \frac{2062.8}{m+1}. \quad \text{(§. 161.)}$$

Die absolute Größe der Oeffnung der beiden Linsen ist in dem Nachfolgenden so bestimmt, daß einer jeden $\frac{5}{10}$ ihrer Brennweite zur Oeffnung gegeben ist.

§. 192. In diesem Okular fällt das Bild in die Mitte zwischen die beiden Linsen, wie die Figur (XXXVI) zeigt. Denn damit die Strahlen parallel ins Auge gelangen, muß O der Brennpunkt der zweiten Linse seyn; da nun die Entfernung beider Linsen der doppelten Brennweite der zweiten gleich ist; so liegt O in der Mitte.

§. 193. Das Diaphragma wird in dem Punkte O gestellt, in welchem sich das Bild befindet: es hält die Strahlen ab, welche an der Gränze desselben unordentlich zerstreut sind, und das Bild undeutlich machen, wenn sie mit durch die zweite Linse gingen. Seine Oeffnung erhält die Größe des Bildes und ist höchstens zwei Drittheile der Oeffnung des ersten Okulars. Durch seine zu große Verengerung würde auch das Gesichtsfeld verengert werden: denn die Oeffnung des Diaphragma bestimmt den Rand des Gesichtsfeldes, sie muß also mit der Größe der nützlichen Oeffnung der Linsen im gehörigen Verhältnisse stehen.

§. 194. Das Doppelokular wird in dem Fernrohre so gestellt, daß die erste Linse über den Brennpunkt des Objektives u um die Hälfte ihrer eigenen Brennweite hinausgeht, oder daß $Cu = \frac{1}{2} F$ ist. Denn in der Formel $d = \frac{pF}{p - F}$, (§. 42) ist hier $d = Cu$, $p = Co = \frac{1}{3} F$, folglich

$$Cu = \frac{F^2}{3} : \frac{2F}{3} = \frac{1}{2} F.$$

Das Okular ist übrigens in der Röhre verschiebbar, sowohl wegen der individuellen Deutlichkeit des Sehens, als wegen der größeren oder geringeren Konvergenz der Strahlen bei entfernteren oder näheren Gegenständen, weil das deutliche Sehen nur dann eintritt, wenn der Vereinigungspunkt in den Punkt O fällt.

§. 195. So viele Vorzüge dieses Doppelokular, welches

auch bei den Spiegelteleskopen angewendet wird, vor der einfachen Linse hat; so kann es doch für die stärksten Vergrößerungen nicht angewendet werden, weil dann das Bild zu nahe an die Gläser fällt. Wenn wir hier wie oben (§. 175) annehmen, daß das Bild $\frac{2}{3}$ Zoll von der Linse enfernt bleiben soll; so wäre für die stärkste Vergrößerung mit diesem Okular $D = \frac{4}{9}$ Zoll, $f = \frac{2}{9}$ Zoll und $F = \frac{6}{9}$ Zoll; die Vergrößerung folglich jener einer einfachen Linse von $\frac{3}{9}$ Zoll Brennweite gleich. Dieses gibt für die Brennweite eines Objektivs von 48 Zoll eine Vergrößerung von 144. Die letzte Vergrößerung von 216 für dieses Fernrohr (§. 175) müßte also durch eine einfache Plankonvexlinse hergestellt werden. Eben so gibt jenes Okular für das 60 zöllige Objektiv eine Vergrößerung von 180; die weitere Vergrößerunng von 270 ist also gleichfalls durch eine einfache Linse herzustellen.

§. 196. Wenn man für irgend eine beliebige Brennweite des Objektivs irgend eine beliebige Vergrößerung anwenden wollte; so würde man für jede einzelne Vergrößerung ein eigends berechnetes und konstruirtes Okular nöthig haben. Dieses würde die Ausführung erschweren und vertheuern, ohne übrigens einen Vortheil zu gewähren. Man nimmt daher die Vergrößerungen für verschiedene in einer schicklichen Reihe fortlaufende Brennweiten der Objektive in der bereits oben (§. 176) angegebenen Progression an, wodurch man den Vortheil erhält, daß man nur wenige Abänderungen von Okularen braucht, um eine bedeutende Anzahl von Vergrößerungen für verschiedene Brennweiten der Objektive damit herzustellen. Dieses wird durch nachfolgende Eintheilung erläutert.

1) Für ein Objektiv von 54 Zoll Brennweite soll das achromatische Doppelokular für die Vergrößerung von 48 bestimmt werden. Es ist also:

Die Brennweite der ersten Linse = $\frac{108}{48}$ = Zoll 2.25

Die Brennweite der zweiten Linse . . . = 0.75

Die Entfernung der beiden Linsen . . . = 1.50

Oeffnung der ersten Linse . . . . . = 1.125

Oeffnung der zweiten Linse . . . . . = 0.375

Oeffnung des Diaphragma . . . . . = 0.75

Der Ort des Auges . . . . . = 0.375

Entfernung des Okulardeckels von der zweiten Linse . . . . . = 0.125

Durchmesser der Oeffnung in diesem Okulardeckel (Okularöffnung) . . . . . = 0.25 (§. 155).

Das Okular von dieser Dimension dient nun zugleich bei Objektiven von anderen Brennweiten für diejenige Vergrößerung, bei welcher $\frac{2p}{m} = \frac{108}{48} = 2\frac{1}{4}$ Zoll ist, also auch für die Quotienten $\frac{120}{54}$ und $\frac{144}{24}$, folglich für die Vergrößerungen von 54 und 64 bei den Brennweiten von 60 und 72 Zollen.

2) Eben so ist nur ein Okular von einer und derselben Dimension bei den Brennweiten von 72, 60, 54, 48 und 42 Zollen, für die Vergrößerungen von 96, 80, 72, 64 und 54 erforderlich. Die Dimensionen dieses Okulars sind:

Brennweite der ersten Linse . . = $\frac{144}{96}$ = 1.5 Zoll

Brennweite der zweiten Linse . . . = 0.5 "

Entfernung beider Linsen . . . . = 1.0 "

Ort des Auges . . . . . = 0.25 "

Oeffnung der ersten Linse . . . . = 0.75 "

Oeffnung der zweiten Linse . . . . = 0.25 Zoll
Oeffnung des Diaphragma . . . . = 0.50 =
Entfernung des Okulardeckels von der zweiten Linse . . . . . = 0.083 =
Durchmesser der Okularöffnung . . . = 0.18 =

3) Ein drittes Okular gibt bei den Brennweiten von 20, 30, 42, 48, 54, 60 und 72 Zollen die Vergrößerung von 40, 60, 84, 96, 108, 120 und 144.

Die Dimensionen dieses Okulars sind:

Brennweite der ersten Linse . . . . = 1 Zoll
Brennweite der zweiten Linse . . . = 0.333 =
Entfernung beider . . . . . = 0.666 =
Ort des Auges . . . . . = 0.166 =
Oeffnung der ersten Linse . . . . . = 0.50 =
Oeffnung der zweiten Linse . . . . = 0.166 =
Oeffnung des Diaphragma . . . . . = 0.333 =
Entfernung des Okulardeckels von der zweiten Linse . . . . . = 0.055 =
Durchmesser der Okularöffnung . . . = 0.11 =

4) Ein viertes Okular endlich gibt für die Brennweiten von 20, 30, 42, 48, 54, 60 und 72 Zollen die Vergrößerungen 60, 90, 126, 144, 162, 180 und 216.

Die Dimensionen dieses Okulars sind:

Brennweite der ersten Linse . . . . = 0.666 Z.
Brennweite der zweiten Linse . . . . = 0.222 =
Entfernung beider . . . . . = 0.444 =
Ort des Auges . . . . . = 0.111 =
Oeffnung der ersten Linse . . . . . = 0.333 =
Oeffnung der zweiten Linse . . . . = 0.111 =
Oeffnung des Diaphragma . . . . . = 0.222 =

Entfernung des Okulardeckels von der zweiten Linse . . . . . = 0.037 Zoll

Durchmesser der Okularöffnung . . . = 0.074 =

Die oben (§. 177) angegebenen 22 Vergrößerungen für Fernröhre von 6 verschiedenen Dimensionen werden also durch fünferlei astronomische Okulare hervorgebracht, von denen das fünfte aus einer einfachen Linse besteht.

§. 197. In diesem Okular kann übrigens kein Mikrometer angebracht werden. Denn dieses müßte in den Punkt O oder den Brennpunkt der zweiten Linse gestellt werden, was jedoch hier nicht Statt finden kann, da der Punkt O bei terrestrischen Messungen in einem gewissen Grade seine absolute Stelle mit der größeren Entfernung des Gegenstandes ändert.

Um die Anbringung eines Mikrometers in dem doppelten Okular auszuführen, wird dasselbe so eingerichtet, daß das Bild von dem Objektive, nicht wie vorher zwischen die beiden Linsen fällt, sondern vor der ersten Linse dargestellt wird; wie dieses aus der Figur XXXVI ersichtlich ist. Das Mikrometer wird dann in dem Punkte O, welcher der Brennpunkt des Objektives ist, aufgestellt.

In diesem Okular sind die Gläser so gestellt, daß die konvexen Seiten der beiden Plankonvexlinsen einander in dem Rohre gegenüber stehen, oder die Planseite der zweiten Linse dem Auge, die Planseite der ersten Linse aber dem Gegenstande zugekehrt ist. Das Okular ist verschiebbar, damit nach Beschaffenheit des Auges das Mikrometer deutlich gesehen werde.

§. 198. Die Dimensionen dieses Okulars können folgendermaßen genommen werden:

Die Brennweite der ersten Linse gleich der doppelten Brennweite des Objektivs dividirt durch die Vergrößerungszahl $= \frac{2p}{m}$.

Die Brennweite der zweiten Linse gleich $\frac{5}{9}$ = 0.555 der ersten.

Die Entfernung der beiden Gläser von einander gleich $\frac{4}{9}$ = 0.444 der Brennweite des ersten Glases.

Die Brennweite der äquivalenten Linse ist gleich der halben Brennweite des ersten Glases.

Die Oeffnungen der Linsen betragen $\frac{5}{10}$ ihrer Brennweiten.

Die Entfernung des Bildes von der ersten Linse ist $\frac{1}{10}$ = 0.10 der Brennweite dieser letzteren.

Der Ort des Auges = $\frac{}{18}$ = 0.278 der Brennweite der ersten Linse.

Z. B. Ein solches Okular soll für die 180fache Vergrößerung eines Objektivs von 60 Zoll Brennweite dienen; so wird die Brennweite der ersten Linse = $\frac{120}{180} = \frac{2}{3}$ Zoll, jene der zweiten = $\frac{10}{27}$ Zoll; die Entfernung beider = $\frac{8}{27}$ Zoll; die Entfernung des Bildes von der ersten Linse = $\frac{1}{15}$ Zoll; der Ort des Auges = $\frac{5}{27}$ Zoll. Eben dieses Okular dient auch für die Vergrößerung 144 des Objektivs von 48″ Brennweite; ferner für die Vergrößerung 126 des Objektivs von 42 Zoll Brennweite; für die Vergrößerung 90 des Objektivs von 30 Zoll Brennweite und so fort; ganz eben so wie bei dem vorhergehenden Doppelokular; so daß ebenfalls vier Abänderungen dieses Okulars zur Herstellung der oben angegebenen astronomischen Vergrößerungen hinreichen, nämlich eine für die Brennweite der ersten Linse = $2\frac{1}{4}$ Zoll; eine zweite für die Brennweite der ersten Linse = $1\frac{1}{2}$ Zoll; eine dritte für die Brennweite der ersten Linse, = 1 Zoll, und eine vierte von dieser Brenuweite = $\frac{2}{3}$ Zoll.

Vergleicht man für die letztere Vergrößerung das zweite Okular mit dem ersten; so beträgt in dem zweiten die Entfernung des Bildes von der ersten Linse nur $\frac{1}{15}$ Zoll, während sie in dem ersten Okular $\frac{2}{3}$ Zoll, also mehr als dreimal

so viel ausmacht. Diese große Nähe des Bildes, wodurch die Unvollkommenheiten der Glasfläche und der Staub auf derselben sichtbar werden, macht es nothwendig, daß bei diesem Okular die erste Glasfläche möglichst vollkommen poliert sey, und während des Gebrauches vom Staube sorgfältig rein gehalten werde. Dieses Okular ist übrigens nicht ganz achromatisch, wovon der Grund in dem Orte des Bildes liegt, und das erste Okular verdient also vor dem letzteren in allen Fällen, wo kein Mikrometer angebracht werden muß, den Vorzug.

§. 199. Die vorstehenden Regeln zur Herstellung der doppelten Okulare setzen übrigens voraus, daß die Gläser, aus welchen beide Linsen bestehen, dasselbe Brechungs- und Zerstreuungsvermögen haben. Sowohl hierin, als in der Gestalt der Gläser selbst können in der Ausführung kleine Abweichungen vorkommen, welche man durch Versuche korrigiren muß. Dieses geschieht durch die Verminderung oder Vergrößerung der Entfernung der beiden Linsen; denn dadurch wird der Fehler, der etwa in den Brennweiten der Linsen vorhanden wäre, korrigirt. Die durch die obigen Regeln angegebenen Dimensionen müssen daher als Anhaltspunkte dienen, von denen der Künstler auszugehen hat. Sind nun die Linsen nach diesen Dimensionen hergestellt; so werden sie in zwei hierzu eingerichteten, in einander verschiebbaren, kurzen Röhren befestigt, mit dem entsprechenden Fernrohre verbunden; und die Entfernung der beiden Linsen nun so lange verändert, bis der Gegenstand am deutlichsten erscheint, und die Farben verschwinden oder am kleinsten werden, nämlich, bis bei etwas wenig vergrößerter oder verringerter Entfernung an dem Rande eines beleuchteten Gegenstandes auf dunkelm Grunde die rothe Farbe auf die violette und umgekehrt folgt, woraus man leicht die gehörige Entfernung für die dazwischen liegende Stelle

findet. Diese Entfernung wird genau bemerkt, und nach derselben werden die beiden Linsen mit ihren Fassungen in das hiernach abgemessene Okularrohr eingeschraubt. Wenn jedoch das Glas von derselben Beschaffenheit ist, und die Halbmesser der Linse nach dem Brechungsinder desselben richtig genommen sind; so wird auch diese Probierung unnöthig, da dann die angegebenen Distanzen sogleich die richtige Stellung liefern.

Von dem achromatischen dreifachen Okulare.

§. 200. Das doppelte Okular stellt den Gegenstand verkehrt vor, wird also nicht zu terrestrischen Fernröhren verwendet, sondern nur zu astronomischen. Um den Gegenstand aufrecht darzustellen, sind in dem Okular drei oder vier Linsen *) erforderlich: diese Okulare oder Okularröhren werden daher terrestrische genannt.

Auf welche Art durch das dreifache Okular die Aufrichtung des Bildes des Gegenstandes erfolge, und wie in einem solchen Okular der Gang der Strahlen sich verhalte, zeigt die Figur XXXVIII, welche hier keine weitere Erklärung mehr nöthig hat.

§. 201. Damit nun dieses Okular, nach demselben Princip wie bei dem Doppelokular, achromatisch werde, müssen die drei Linsen von einander eine bestimmte Entfernung haben: ihre Brennweiten können übrigens beliebig angenommen werden.

Wenn F die Fokallänge des Objektivs bezeichnet, und x, y, z die Brennweiten der drei Linsen ausdrücken, so daß z die Brennweite der dem Auge zunächst stehenden Linse ist; so ist die achromatische Einrichtung dieses Okulars in folgenden Regeln enthalten.

---

*) Die zuerst von Dollond angewendeten Okulareinsätze von fünf Linsen sind nicht mehr im Gebrauche.

I. Die Entfernung zwischen der ersten und zweiten Linse . . . . . = x + y

II. Die Entfernung zwischen der zweiten und dritten . . . . . = $y + z + \frac{y^2}{x+y}$

III. Die Entfernung der ersten Linse vom Fokus des Objektivs . . . . . = $\frac{xy}{x+y}$

IV. Vergrößerung des Okulars . . . = $\frac{Fy}{xz}$

V. Fokaldistanz der äquivalenten Linse . . = $\frac{xz}{y}$

VI. Entfernung des Auges von der dritten Linse = z.

VII. Die Oeffnungen der zweiten und dritten Linse sind gleich, jene der ersten = $\frac{x}{y}$ der zweiten. Die Oeffnungen der Linsen können auch gleich gemacht, dürfen jedoch nicht größer werden, als höchstens $\frac{6}{10}$ der Fokallänge der dritten Linse.

VIII. Das Diaphragma kommt in den Fokus des Objektivglases, und dessen Oeffnung wird etwas kleiner, als die Oeffnung der ersten Linse.

IX. Das Gesichtsfeld ist dasselbe, wie für die erste Linse allein, oder wenn deren Oeffnung mit x bezeichnet wird

$$= \frac{x}{p+q} = \frac{10.31.4}{m+1} \text{ (§. 161).}$$

X. Die Linsen sind plankonvex, mit der flachen Seite gegen das Auge gekehrt, ausgenommen die zweite Linse, deren flache Seite gegen das Objekt steht.

Z. B. die Fokallänge einer jeden Linse betrage 1 Zoll, F = 30 Zoll: so ist

Die Entfernung der ersten und zweiten Linse = 2 Zoll
Jene der zweiten und dritten . . = $2\frac{1}{2}$ "
Die Entfernung der ersten Linse vom Fokus des Objektivs . . . . = $\frac{7}{2}$ "
Vergrößerung . . . . . = 30 "
Fokallänge der äquivalenten Linse . . = 1 "
Entfernung des Auges . . . . = 1 "
Oeffnung der Linsen . . . . = $\frac{6}{10}$ "
Gesichtsfeld . . . . . = $33\frac{1}{4}$ Minuten.

§. 202. Obgleich die Farbenzerstreuung durch dieses Okular entfernt wird, indem man die Linsen von irgend einer Fokallänge nimmt, und sie in den angegebenen Entfernungen setzt; so ist es doch vorzuziehen, die erste und zweite Linse von derselben Fokallänge zu machen, und der dritten eine geringere Fokaldistanz zu geben, ihre Entfernung aber von der zweiten Linse gleich zu machen ihrer eigenen Fokallänge + $1\frac{1}{2}$ Fokallänge einer der anderen Linsen, oder nach der vorigen Bezeichnung

$$= z + 1\tfrac{1}{2} y.$$

Denn in diesem Falle sind x und y gleich, es wird also

$$\frac{y^2}{x+y} = \tfrac{1}{2} y,$$

oder der obige Ausdruck II wird

$$= z + 1\tfrac{1}{2} y.$$

Diese Stellung ist dann sehr einfach, und hat noch den Vortheil, daß die vergrößernde Kraft des ganzen Okulars dann gleich ist der vergrößernden Kraft der dritten Linse, wie schon das vorige Beispiel zeigt, weil dann in V,

$$\frac{xz}{y} = z$$

wird. Wenn man also bei dieser Anordnung dem Fernrohr eine gewisse Vergrößerung geben will, so braucht man nur für

die dritte Linse eine Fokallänge zu nehmen, die dieser Vergrö-ßerung entspricht, und hiernach die Fokallängen der beiden andern Linsen ein wenig größer, als jene der dritten zu machen.

§. 203. Mit der Verkürzung der Fokaldistanz dieser dritten Linse oder mit der Vergrößerung wird jedoch das Gesichtsfeld vermindert, welches bei diesem Okular von der Oeffnung dieser dritten Linse abhängt. Nach Boscovich's Anordnung wird diesem abgeholfen, wenn Statt der dritten Linse zwei plankonvexe Linsen angewendet werden, welche einander in der Art berühren, daß die flachen Seiten beider dem Auge zugekehrt sind, und deren Fokallängen gleich siud. Da zwei solche einander berührende Linsen die Hälfte der Fokallänge der einzelnen haben: *) so können also dieselben für dieselbe Vergrößerungskraft dieser dritten zusammengesetzten Linse, doppelt so große Fokallängen, folglich doppelt so große Oeffnungen erhalten, als vorher die einzige Linse; das Gesichtsfeld wird daher auch um das Doppelte vergrößert. In diesem Falle werden also diese vereinigten (dritte und vierte) Linsen als eine einzige angesehen, und die übrigen Dimensionen des Okulars bleiben dieselben.

Dieses Okular kann mit einem Mikrometer in dem Fokus des Objektivs versehen werden.

§. 204. Dieses achromatische Okular, das sich übrigens durch die Einfachheit seiner Einrichtung empfiehlt, auch für geringere Vergrößerungen brauchbar ist, hat noch die Unvoll-

---

*) Denn aus der Formel

$$F' = \frac{Ff}{F+f} \quad (\S.\ 185.)$$

wird für $F = f$,

$$F' = \frac{F}{2} = \frac{f}{2}.$$

kommenheit, daß in demselben die sphärische Abweichung noch beträchtlich ist, weil die oben erwähnte Theilung der ganzen Brechung in mehrere Theile hier nicht Statt findet, indem eine sehr große Brechung bei der zweiten Linse, wie die Figur XXXVIII zeigt, vorhanden ist, wo der Strahlenbüschel, der aus der ersten Linse von der anderen Seite der Axe kommt, dieser wieder nach der Brechung parallel oder mit ihr konvergent wird. Dadurch wird eine bedeutende Abweichung erzeugt. Das nachfolgende vierfache Okular hebt auch diesen Nachtheil.

Von dem achromatischen vierfachen Okular.

§. 205. Das achromatische Okular mit vier Linsen hebt nicht nur durch die gehörige Theilung der Brechung (§. 182) die sphärische Abweichung, sondern auch die Farbenzerstreuung nach den vorigen Grundsätzen auf, und ist als terrestrisches Okular, richtig konstruirt, in jeder Beziehung das vollkommenste, daher es vor jeder andern ähnlichen Zusammensetzung den Vorzug verdient. Diese Vorzüge sind auch allgemein anerkannt, wenn gleich bisher nur wenige Optiker diese Okulare vollkommen herzustellen vermochten. Man wendet zwar jetzt allgemein für die terrestrischen Okularröhren diese vierfachen Okulare *) an; bei vielen vermißt man jedoch bei näherer Untersuchung die richtigen Verhältnisse, damit für die vorhandenen Vergrößerungen die beiden Abweichungen möglichst vermindert, und dabei das Gesichtsfeld so groß als möglich erhalten werde.

---

*) Sie wurden zuerst von Dollond und Ramsden eingeführt.

§. 206. Dieses vierfache Okular läßt sich nicht, wie die vorhergehenden, nach allgemeinen Regeln konstruiren. Denn in demselben sind zwölf verschiedene Größen zu bestimmen, welche wechselseitig von einander abhängen, und von denen für jeden einzelnen Fall mehrere willkührlich angenommen werden müssen. Diese Annahmen müssen sich zum Theil auf Beobachtungen und Versuche gründen, um hiernach und für einen bestimmten Fall die vollkommenste Art der Verbindung der vier Linsen untereinander in Hinsicht auf Achromaticität, Vergrößerung und Gesichtsfeld bestimmen zu können. Diese Rechnungen sind sehr weitläufig und komplicirt, und selbst noch mühsamer als die ursprüngliche Berechnung eines achromatischen Objektivs. Wir müssen uns daher auch hier mit der Beschreibung der wesentlichen Beschaffenheit eines solchen Okulars begnügen, um hiernach die beste Einrichtung desselben für die verschiedenen praktischen Fälle angeben zu können.

§. 207. Die Figur XXXIX stellet den Gang der Strahlenkegel durch ein solches achromatisches Okular mit vier Linsen dar. Die dargestellten Strahlen sind sowohl diejenigen, die von den äußersten Punkten eines Gegenstandes kommen, als auch jene aus einem Punkte desselben in der Axe. Das von dem Objektiv gemachte Bild liegt vor der ersten Linse: das zweite Bild fällt zwischen die dritte und vierte Linse, oder in die Brennweite der letzteren, daher die von den einzelnen Punkten kommenden Strahlen durch diese vierte Linse parallel austreten. Das Bild erscheint aufrecht. Die farbigen Strahlen, welche durch die erste Linse zerstreut worden sind, durchkreuzen sich nahe hinter der dritten Linse, und werden dann durch die vierte Linse vermöge ihrer sphärischen Abweichung parallel gemacht, ganz auf dieselbe Weise, als früher bei dem achromatischen Doppelokular.

§. 208. Das in der Figur XXIX vorgestellte Okular ist ein achromatisches Okular für ein Objektiv von 16 Zoll Brennweite und 21malige Vergrößerung in natürlicher Größe. Es ist oft nothwendig, aus den gegebenen Fokaldistanzen und Entfernungen eines solchen Okulars die übrigen Verhältnisse desselben, nämlich: a) die Oeffnungen der Linsen, b) der Diaphragmen, c) den Ort des ersten Bildes, d) den Ort des Auges, e) die Vergrößerung und f) das Gesichtsfeld, zu bestimmen. Sowohl zu diesem Behufe, als zur Erlangung einer näheren Einsicht in die Natur dieses Gegenstandes wollen wir das vorstehende Okular in dem nachstehenden Beispiele berechnen.

Die gegebenen oder genau abgemessenen Dimensionen desselben sind folgende:

Brennweite der ersten Linse = 1′′.2
= = zweiten = = 1′′.52
= = dritten = = 1′′.75
= = vierten = = 1′′.20

Entfernung der ersten und zweiten Linse = 1′′.65
Entfernung der zweiten und dritten Linse = 2′′.80
Entfernung der dritten und vierten Linse = 1′′.93.

§. 209. Es ist zuerst die Entfernung des Bildes von der ersten Linse zu bestimmen. Zu diesem Behufe müssen die aus dem in der Axe liegenden Punkte des Gegenstandes kommenden, also aus der letzten Linse mit der Axe parallel austretenden Strahlen in der Figur XL betrachtet werden; wo man sich die Sache so vorstellt, als wenn die Strahlen von dem Orte des Auges parallel mit der Axe auf die letzte Linse fielen.

Nach dem Durchgange durch diese letzte Linse B′′′B′′′ vereinigen sie sich in dem Brennpunkte N, dessen Entfernung von der dritten Linse = 1.93 — 1.2 = 0′′.73 ist. Aus die-

sem Punkte fallen sie auf die dritte Linse B″B″, und ihre Vereinigungsweite ist nach der Formel

$$f = \frac{dp}{d - p} (XIV) = \frac{0.73 \times 1.75}{-1.02} = -1''.252.$$

Diese Vereinigungsweite MI ist negativ, weil sie rückwärts von der Linse liegt. Die Entfernung dieses Punktes, welcher als leuchtender Punkt gilt, von der zweiten Linse B′B′ ist also $= D'D'' + D''I = 2.8 + 1.252 = 4''.052.$

Der Weg des Strahls durch die zweite Linse ist also nach derselben Formel $= \frac{4.052 \times 1.52}{2.532} = 2''.434$, oder er schneidet die Axe in dieser Entfernung in dem Punkte G. Dieser Punkt liegt hinter der ersten Linse in der Entfernung $= 2.434 - 1.65 = 0''.784$. Diese Entfernung des leuchtenden Punktes von der ersten Linse ist negativ, weil sie auf derselben Seite mit der Vereinigungsweite liegt.

Der Weg des Strahls durch die erste Linse ist also nun nach derselben Formel

$$= \frac{-0.784 \times 1.2}{-0.784 - 1.2} = 0''.473 = FD.$$

Die Entfernung des Bildes von der ersten Linse dieses Okulars beträgt also $= 0.473$ Zoll.

§. 210. Um nun ferner die übrigen Verhältnisse zu bestimmen, müssen wir in der Figur XLI den Gang der von Punkten außerhalb der Axe kommenden Strahlen betrachten. EC ist ein solcher von einem äußern Punkte des Gegenstandes kommender, durch den Mittelpunkt des Objektivs gehender Hauptstrahl, der auf dieser Seite einfach, und ohne Spaltung in die Farben dargestellt ist.

Die Entfernung der ersten Linse von dem Objektiv ist $CD = 16''.473 = d$, also nach der Formel $p = \frac{dp}{d - p}$

ist der Vereinigungspunkt des Strahls mit der Axe nach der Brechung durch die erste Linse

$$= \frac{16.473 \times 1.2}{15.273} = 1.''294 = \text{DG}.$$

Aus diesem Punkte, dessen Entfernung von der zweiten Linse $\text{D}'\text{G} = 1.65 - 1.294 = 0''.356$ ist, fällt der Strahl auf die zweite Linse: seine Vereinigungsweite ist also

$$= \frac{0.356 \times 1.52}{0.356 - 1.52} = - 0''.4648 = \text{D}'\text{I}.$$

Die Entfernung dieses Punktes von der dritten Linse ist also $= 2.8 + 0.4648 = 3''.2648 = \text{D}''\text{I}$: also die Vereinigungsweite nach der Brechung durch die dritte Linse

$$= \frac{3.265 \times 1.75}{3.265 - 1.75} = 3''.7714 = \text{D}'''\text{N}.$$

Die Entfernung dieses Punktes N von der letzten Linse ist $\text{D}'''\text{N} = 3.7714 - 1.93 = 1''.8414$. Also ist die Vereinigungsweite nach der Brechung durch die vierte Linse

$$= \frac{- 1.8414 \times 1.2}{- 1,8414 - 1,2} = 0''.7266 = \text{D}'''\text{R}.$$

Diese Entfernung $\text{D}'''\text{R}$ ist der Ort des Auges von der letzten Linse.

§. 211. Hieraus lassen sich nun die Oeffnungen der Linsen bestimmen.

Setzt man die Oeffnung der ersten Linse $\text{DE} = 1$, so ist

Die Oeffnung der zweiten Linse

$$\text{D}'\text{H} = \frac{\text{D}'\text{G}.\text{DE}}{\text{DG}} = \frac{0.356}{1.294} = 0.2750.$$

Die Oeffnung der dritten Linse

$$\text{D}''\text{M} = 0.2750 \times \frac{\text{D}''\text{I}}{\text{D}'\text{I}} = 0.2750 \times \frac{3.265}{0.465} = 1.932.$$

Die Oeffnung der vierten Linse

$$D'''P = 1.932 \times \frac{D'''N}{D''N} = 1.932 \times \frac{1.846}{3.771} = 0.943 *).$$

Nach diesen Verhältnissen wird nun die absolute Größe der Oeffnungen so bestimmt, daß der dritten Linse die Hälfte ihrer Brennweite zur Oeffnung gegeben wird, wornach man dann die drei übrigen bestimmt. Die Oeffnung der dritten Linse wird sonach $= \frac{1.75}{2} = 0''87$; also jene der ersten

$$= \frac{0.87}{1.932} = 0''45; \text{ jene der zweiten} = \frac{0.275 \times 0.87}{1.932}$$

$$= 0''.124; \text{ und jene der vierten} = \frac{0.943 \times 0.87}{1.932},$$

$= 0''.424.$

§. 212. Da es in der Ausführung unbequem ist, in die Okularröhre eine Linse von einer verhältnißmäßig gegen die übrigen so geringen Oeffnung, wie hier bei der zweiten Linse, (die etwa 7mal kleiner ist, als jene der dritten Linse) einzusetzen; so ist es vorzuziehen, dieser zweiten Linse beiläufig dieselbe Breite oder Oeffnung wie der ersten zu geben; dagegen aber, wie in Fig. XXXIX zwischen der ersten und zweiten Linse ein Diaphragma von der gehörigen Oeffnung einzusetzen, wodurch dasselbe erzweckt wird. Die Oeffnung dieses Diaphragma ist gleich der berechneten Oeffnung der zweiten Linse, multiplicirt mit $\frac{DG}{DD'}$ **); also $0.124 \times \frac{1.294}{1.65} = 0.097$ oder

---

*) Denn es verhält sich:

$$DG : D'G = DE : D'H$$
$$D'I : D''I = D'H : D''M$$
$$D''N : D'''N = D''M : D'''P.$$

**) Denn es ist DD′ : DG, wie die Oeffnung der zweiten Linse zur gleichgültigen Oeffnung des Diaphragma.

0‴.10. Der Ort dieses Diaphragma ist der Vereinigungspunkt nach der ersten Linse, dessen Entfernung von der ersten Linse DG = 1.‴294.

§. 213. Das Diaphragma TT′ zwischen der dritten und vierten Linse kommt an den Ort des Bildes oder in die Brennweite der letzten Linse zu stehen, also in der Entfernung = 1‴2 von der letzten Linse. Seine Oeffnung ist gleich der Entfernung

$$TN = D'''T + D'''N \text{ multiplicirt mit } \frac{D'''P}{D'''N}, \text{ also}$$

$$= 3.04 \times \frac{0.424}{1.84} = 0'''69 \text{ *).}$$

Diese Oeffnungen der Diaphragmen sind die größten, welche sie erhalten können, wobei vorausgesetzt wird, daß sie genau an den bezeichneten Stellen stehen. Steht das Diaphragma etwas mehr vor- oder rückwärts, so wird das Gesichtsfeld verringert, weil die äußersten Strahlen dann nicht mehr durchgehen können. Man macht daher bei der Ausführung die Oeffnungen der Diaphragmen etwas weniges größer, als sie die Rechnung gibt, damit man die etwaigen Fehler in der genauen Stellung dadurch kompensiren könne. Ist die Oeffnung des Diaphragma jedoch zu groß, so nützt dasselbe nichts mehr, da es dann die äußern zerstreuten Strahlen nicht mehr abhält.

§. 214. Aus dem Verhältnisse der Oeffnungen der Linsen ergibt sich ferner die Vergrößerung, denn diese ist

$$= \frac{DC}{DE} : \frac{D'''R}{D'''P} = \frac{DC.D'''P}{DE.D'''R} \text{ (§. 156); oder sie wird}$$

erhalten, indem man das Produkt aus der Entfernung des Objektivs von der ersten Linse in die Oeffnung der letzten Linse,

---

*) Denn es ist D‴N : D‴P = wie die Entfernung des Diaphragma von N zu seiner Oeffnung.

mit dem Produkt aus der Entfernung des Auges von der letzten Linse in die Oeffnung der ersten Linse dividirt. Es ist also hier die Vergrößerung $= \frac{16.473 \times 0.943}{1 \times 0.7266} = 21.38.$

§. 215. Es sey die ganze Oeffnung der ersten Linse = e in Zollen; so ist das Gesichtsfeld $= \frac{e \times 3438}{p + q}$ (§. 159) $= \frac{3438 \times 0.''45}{16.473} = 94$ Minuten.

§. 216. Die Entfernung des Deckels von der letzten Okularlinse ist gleich der halben Entfernung derselben vom Auge, also = 0''.36; die Oeffnung in diesem Deckel oder die Okularöffnung ist gleich der halben Oeffnung der letzten Linse, also = 0''21.

§. 217. Hiernach wären alle Punkte bestimmt, die bei einem solchen Okular zu berücksichtigen kommen, und nach dieser Weise sind dieselben bei den in dem Nachfolgenden verzeichneten Mustern solcher Okulare angegeben.

Ganz auf die eben angegebene Weise durch die Berechnung des Weges, welchen der Lichtstrahl durch die vier Okularlinsen nimmt, kann ein solches Okular auch auf den Grad seiner achromatischen Beschaffenheit untersucht werden. Denn in der Figur XLI bezeichne E′H′M′ den mittleren und E′hm den violetten Strahl, welcher aus dem, von dem achromatischen Objektiv kommenden Strahl CE′ in dem Okular abgesondert oder zerstreut wird; ferner sey für das mittlere Brechungsverhältniß = 1.53, der Brechungsinder der rothen Strahlen = 1.524, der violetten = 1.544, also deren Differenz = 0.020 (§. 82); folglich diese Differenz von den mittleren zu den äußern = 0.010; so wird für den violetten Strahl die Brennweite = 1 — 0.01 = 0.99 (§. 95). Der Weg dieses Strahls wird also erhalten,

wenn man in der Formel: $f = \frac{dp}{d - p}$ Statt p immer $= 0.99p$ setzt. Ist nun die Farbenzerstreuung durch die Stellung der Linsen aufgehoben; oder treten die zu demselben Strahl gehörigen farbigen Strahlen durch die letzte Linse parallel aus: so muß seyn $\frac{D'''P}{D'''R} = \frac{D'''p}{D'''r}$. Die Figur XLI stellt auf der Seite unter der Axe den Weg der zerstreuten farbigen Strahlen vor, durch welchen sie nach der Brechung in der vierten Linse parallel austreten.

§. 218. Man kann aus dem Bisherigen übersehen, daß viele Kombinationen bei der Einrichtung dieses Okulars möglich sind, um unter den vielen oben angegebenen Bestimmungsstücken nebst der achromatischen Beschaffenheit das vortheilhafteste Verhältniß derselben für verschiedene Zwecke festzustellen. Man kann behaupten, daß auch hierin der selige Fraunhofer in diesen wichtigen Theil der Konstruktion der Fernröhre die mögliche praktische Vollkommenheit gebracht hat, indem seine Okulare mit vier Linsen sowohl rücksichtlich der Aufhebung der Farben, und der zweckmäßigen Theilung der Brechung, als auch in Bezug auf ein verhältnißmäßig zur Vergrößerung bedeutendes Gesichtsfeld nichts zu wünschen übrig lassen, und in diesen Rücksichten selbst die besten englischen, welche ich zu untersuchen Gelegenheit gehabt habe, übertreffen. Ich habe daher auch seine Okulare, wie sie seinen Fernröhren beigegeben sind, in dem Nachfolgenden zum Muster genommen.

§. 219. Ein Umstand, der die praktische Anwendung dieser außerdem so schwierig zu berechnenden Okulare erleichtert, ist, daß nach den gegebenen Dimensionen eines solchen richtig für eine bestimmte Fokallänge und Vergrößerung konstruirten Okulars, sich die Einrichtung für eine andere Vergrößerung

dadurch angeben läßt, daß man die Fokaldistanzen der Linsen und ihre Entfernungen in dem Verhältnisse dieser Vergrößerungen vermehrt (für die geringere Vergrößerung) oder vermindert (für die stärkere Vergrößerung). Denn in diesem Falle bleiben die Verhältnisse gegen einander gleich, und es wird an der achromatischen Beschaffenheit nichts geändert. Die nähere Anwendung hiervon kömmt weiter unten §. 221 vor.

Wir glauben den Künstlern durch die detaillirte Angabe der Dimensionen der nachstehenden Okulare, welche für alle in der Ausübung vorkommenden Fälle ausreichen, einen wesentlichen Dienst zu leisten.

§. 220.

Okulare.

I.

Okular für ein Objektiv von 48″ Brennweite, und 57malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . . = 1″58
2) Brennweite der zweiten Linse . . . = 2″38
3) Brennweite der dritten Linse . . . = 2″65
4) Brennweite der vierten Linse . . . = 1″50
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten = 2″57
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten = 4″70
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten = 2″45
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objektivs von der ersten Linse . . . . . = 0″713
9) Entfernung des Augenortes von der vierten Linse . . . . . = 0″886
10) Oeffnung der ersten Linse . . . = 0″7

11) Entfernung des Diaphragma von der ersten Linse . . . . . = 1″29
12) Oeffnung desselben . . . . . = 0″20
13) Oeffnung der dritten Linse . . . = 1″15
14) Oeffnung der vierten Linse . . . = 0″7
15) Oeffnung des Diaphragma . . . = 0″75
16) Vergrößerung . . . . . = 57
17) Gesichtsfeld . . . . . = 30 Min.
18) Entfernung des Okulardeckels von der vierten Linse . . . . . = 0″44
19) Durchmesser der Okularöffnung . . . = 0″26
20) Länge der ganzen Okularröhre . . . = 10″*).

II.

Okular für 54″ Brennweite und 60malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . . = 1″825
2) Brennweite der zweiten Linse . . . = 2″235
3) Brennweite der dritten Linse . . . = 2″55
4) Brennweite der vierten Linse . . . = 1″40
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten = 2.725
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten = 4.188
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten = 2.152
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objektivs von der ersten Linse . . . . . = 0.694
9) Entfernung des Augenortes von der vierten Linse . . . . . = 0″927

*) Die Oeffnung der zweiten Linse ist in diesem sowohl, als in allen folgenden Mustern, jener der ersten Linse gleich, oder nur etwas geringer angenommen (§. 212).

10) Oeffnung der ersten Linse . . . = 0″71
11) Entfernung des Diaphragma von der ersten Linse . . . . . = 1″97
12) Oeffnung desselben . . . . . = 0″196
13) Oeffnung der dritten Linse . . . = 1″27
14) Oeffnung der vierten Linse . . . = 0″71
15) Größte Oeffnung des Diaphragma im Brennpunkte der letzten Linse . . . . = 1″07
16) Vergrößerung . . . . . = 60
17) Größtes Gesichtsfeld . . . . = 45 Min.
18) Entfernung des Okulardeckels von der vierten Linse . . . . . = 0″46
19) Durchmesser der Okularöffnung . . . = 0″36
20) Länge der ganzen Okularröhre . . . = 9′36

Für das wegen der größern Deutlichkeit verengerte Gesichtsfeld (S. weiter unten) ist die Oeffnung des Diaphragma (15) = 0″82, und das Gesichtsfeld = 34½ Minuten.

Dieses Okular dient auch für die 80malige Vergrößerung eines Objektivs von 72 Zoll Brennweite. Das Gesichtsfeld ist in diesem Falle = 33.6 Minuten.

III.

Okular für 60″ Brennweite des Objektivs und 66malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . . = 1″71
2) Brennweite der zweiten Linse . . . = 2″09
3) Brennweite der dritten Linse . . . = 2″38
4) Brennweite der vierten Linse . . . = 1″31
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten = 2″55
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten = 3″92
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten = 2″01

8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objektivs von der ersten Linse . . . . . = 0′′650

9) Entfernung des Augenortes von der vierten Linse . . . . . = 0′′868

10) Oeffnung der ersten Linse . . . = 0′′66

11) Entfernung des Diaphragma von der ersten Linse . . . . . = 1′′85

12) Oeffnung desselben . . . . . = 0′′184

13) Oeffnung der dritten Linse . . . = 1′′19

14) Oeffnung der vierten Linse . . . = 0′′66

15) Oeffnung des Diaphragma im Brennpunkte der letzten Linse . . . . . = 1′′00

16) Vergrößerung . . . . . = 66

17) Gesichtsfeld . . . . . = 37.8 Min.

18) Entfernung des Okulardeckels von der vierten Linse = 0′′43

19) Durchmesser der Okularöffnung . . = 0′′33

20) Länge der ganzen Okularröhre . . . = 8′′78

Für das bis auf 30 Minuten verengerte Gesichtsfeld ist die Oeffnung des Diaphragma (15) = 0′′775.

Eben dieses Okular dient auch für die 50malige Vergrößerung eines Objektivs von 42 Zoll Brennweite. Das größte Gesichtsfeld ist 53.7 Minuten; und das verengerte = 41.6 Minuten.

IV.

Okular für 30 Zoll Brennweite des Objektivs und 42malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . . = 1′′45

2) Brennweite der zweiten Linse . . . = 1′′78

3) Brennweite der dritten Linse . . . = 2′′02

4) Brennweite der vierten Linse . . . = 1″11
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten = 2″16
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten = 3″32
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten = 1″71
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objektivs von der ersten Linse . = 0″551
9) Entfernung des Augenortes von der vierten Linse . . . . . = 0″736
10) Oeffnung der ersten Linse . . . = 0″565
11) Entfernung des Diaphragma von der ersten Linse . . . . . = 1″56
12) Oeffnung desselben . . . . = 0″16
13) Oeffnung der dritten Linse . . . = 1″01
14) Oeffnung der vierten Linse . . . = 0″566
15) Oeffnung des Diaphragma im Brennpunkte der letzten Linse . . . . . = 0″85
16) Vergrößerung . . . . . = 42
17) Gesichtsfeld . . . . . = 63.5 Minuten.
18) Entfernung des Okulardeckels von der vierten Linse . . . . . = 0″36
19) Durchmesser der Okularöffnung . . = 0″28
20) Länge der ganzen Okularröhre . . . = 7″40

Für die gleichförmigere Deutlichkeit ist das verengerte Gesichtsfeld = 45 Minuten, und die Oeffnung des Diaphragma (15) = 0″65.

Dieses Okular dient auch für die 28malige Vergrößerung eines Objektivs von 20 Zoll Brennweite. Das Gesichtsfeld ist dann = 94.5 Minuten, wenn die Diaphragmen das oben angegebene Verhältniß behalten: für das verengerte Diaphragma wird das Gesichtsfeld = 71 Minuten.

V.

Okular für 20 Zoll Brennweite des Objektivs und 26malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . . = 1‴56
2) Brennweite der zweiten Linse . . . = 1‴91
3) Brennweite der dritten Linse . . . = 2‴18
4) Brennweite der vierten Linse . . . = 1‴2
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten = 2‴33
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten = 3‴58
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten = 1‴84
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objektivs von der ersten Linse . = 0‴594
9) Entfernung des Augenortes von der vierten Linse . . . . . = 0‴794
10) Oeffnung der ersten Linse . . . . = 0‴61
11) Entfernung des Diaphragma von der ersten Linse . . . . . = 1‴69
12) Oeffnung desselben . . . . . = 0‴168
13) Oeffnung der dritten Linse . . . = 1‴09
14) Oeffnung der vierten Linse . . . = 0‴61
15) Oeffnung des Diaphragma im Brennpunkte der letzten Linse . . . . . = 0‴92
16) Vergrößerung . . . . . = 26
17) Gesichtsfeld . . . . . = 101.7 Minuten.
18) Entfernung des Okulardeckels von der vierten Linse . . . . . = 0‴39
19) Durchmesser der Okularöffnung . . = 0‴30
20) Länge der ganzen Okularröhre . . = 8‴0

In diesem Okular, so wie in jenen unter II, III und IV

ist das Gesichtsfeld nach der ganzen Größe angegeben, welche das Okular für die angegebene Brennweite und Vergrößerung liefern kann. Dieses Gesichtsfeld ist jedoch für terrestrische Gegenstände in der Regel zu groß, und es entsteht dadurch gegen den Rand desselben einige Undeutlichkeit, daher es besser ist, einen Theil dieses Gesichtsfeldes aufzuopfern, um den übrigen in vollkommener Klarheit zu erhalten. In den Fraunhoferschen terrestrischen Okularen ist daher die Oeffnung des Diaphragma vor der vierten Linse mehr verengert, und zwar in dem Verhältnisse, daß sich die wirkliche Oeffnung der dritten Linse zur Oeffnung des Diaphragma verhält, wie die Entfernung der beiden Linsen zu der Brennweite der vierten Linse. In dem vorstehenden Okular wird also nach dieser Stellung die Oeffnung des Diaphragma

$$= \frac{1.09 \times 1.2}{1.84} = 0''7;$$

und es bleibt sonach für die dritte Linse nur eine nützliche Oeffnung von $0''82$, Statt der vorhin angegebenen wirklichen von $1''09$. Das Gesichtsfeld wird daher auch in eben diesem Verhältnisse vermindert, oder es verhält sich

$$1.09 : 0.82 = 101.7 : x,$$

daher

$$x = 76.5.$$

Das Gesichtsfeld dieses Okulars beträgt also bei dieser Einrichtung $= 76.5$ Minuten, was für den Zweck dieser Fernröhre mehr als hinreichend ist. Es wird dabei zugleich der Vortheil erhalten, daß die nützliche Oeffnung der dritten Linse, welche für das größte Gesichtsfeld gleich der Hälfte ihrer Brennweite genommen wird, hier nur etwa $\frac{4}{10}$ dieser Brennweite oder nur etwa $23\frac{1}{2}$ Grade beträgt, was für die Deutlichkeit des Bildes vortheilhaft ist (§. 158). Auf eben diese Art sind in den drei

vorhergehenden Okularen die Verengerungen des Diaphragma für dieses zusammengezogene Gesichtsfeld bestimmt worden.

Eben diese Verengerung des Diaphragma findet auch bei dem oben (§. 196) angegebenen achromatischen Doppelokulare Statt; wo ebenfalls die größte Oeffnung für das Diaphragma angegeben ist, welche für die einförmige Klarheit des Gesichtsfeldes ebenfalls nach dem hier angegebenen Verhältnisse verringert werden kann.

VI.

Okular für 42 Zoll Brennweite des Objektivs und 70malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . . = 1′′′217
2) Brennweite der zweiten Linse . . . = 1′′′49
3) Brennweite der dritten Linse . . . = 1′′′70
4) Brennweite der vierten Linse . . . = 0′′′936
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten = 1′′′81
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten = 2′′′79
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten = 1′′′43
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objektivs von der ersten Linse . = 0′′′463
9) Entfernung des Augenortes von der vierten Linse . . . . . = 0′′′62
10) Oeffnung der ersten Linse . . . = 0′′′475
11) Entfernung des Diaphragma von der ersten Linse . . . . . = 1′′′316
12) Oeffnung desselben . . . . . = 0′′′13
13) Oeffnung der dritten Linse . . . = 0′′′85
14) Oeffnung der vierten Linse . . . = 0′′′476
15) Größte Oeffnung des Diaphragma im Brennpunkte der letzten Linse . . . . = 0′′′72

16) Vergrößerung . . . . . = 26
17) Größtes Gesichtsfeld . . . . = 38.5
Minuten.
18) Entfernung des Okulardeckels von der vier=
ten Linse . . . . . = 0‴31
19) Durchmesser der Okularöffnung . . = 0‴24
20) Länge der ganzen Okularröhre . . = 6‴34

Nach der vorigen Weise wird für das verengerte Gesichtsfeld die Oeffnung des Diaphragma (15) = 0‴55, und sonach das Gesichtsfeld selbst = 30 Minuten.

Eben dieses Okular dient

a) für die 80malige Vergrößerung des Objektivs von 48 Zoll
Brennweite
Gesichtsfeld (größtes) = 33.7 Minuten
= = (verengertes) = 25 =

b) für die 90malige Vergrößerung des Objektivs von 54 Zoll
Brennweite
Gesichtsfeld, größtes = 30 Minuten
= = verengertes = 23 =

c) für die 120malige Vergrößerung des Objektivs von 72 Zoll
Brennweite
Gesichtsfeld, größtes = 22.5 Minuten
= = verengertes = 17.2 =

VII.

Okular für 16 Zoll Brennweite des Objektivs und 21malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . . = 1‴2
2) Brennweite der zweiten Linse . . . = 1‴52
3) Brennweite der dritten Linse . . . = 1‴75
4) Brennweite der vierten Linse . . . = 1‴20

5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten . = 1‴65
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten = 2‴80
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten = 1‴93
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brenn-
punkts des Objektivs von der ersten Linse . = 0‴473
9) Entfernung des Augenortes . . . = 0‴726
10) Oeffnung der ersten Linse . . . = 0‴45
11) Entfernung des Diaphragma von der ersten
Linse . . . . . = 1‴29
12) Oeffnung desselben . . . . . = 0‴10
13) Oeffnung der dritten Linse . . . = 0‴87
14) Oeffnung der vierten Linse . . . = 0‴42
15) Oeffnung des Diaphragma im Brennpunkte
der letzten Linse . . . . . = 0‴69
16) Vergrößerung . . . . . = 21
17) Gesichtsfeld . . . . . = 94
Minuten.
18) Entfernung des Okulardeckels von der vierten
Linse . . . . . = 0‴36
19) Durchmesser der Okularöffnung . . = 0‴22
20) Länge der ganzen Okularröhre . . . = 6‴7

Für das verengerte Gesichtsfeld wird die Oeffnung des
Diaphragma (15) = 0‴54
und das Gesichtsfeld selbst = 73 Minuten.

VIII.

Okular für 12 Zoll Brennweite des Objektivs und 15malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . . = 1‴30
2) Brennweite der zweiten Linse . . = 1‴32
3) Brennweite der dritten Linse . . . = 1‴37

4) Brennweite der vierten Linse . . . = 1''00
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten = 1''73
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten = 2''25
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten = 1''47
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objektivs von der ersten Linse . = 0''432
9) Entfernung des Augenortes von der vierten Linse . . . . . = 0''58
10) Oeffnung der ersten Linse . . . = 0''48
11) Entfernung des Diaphragma von der ersten Linse . . . . . = 1''45
12) Oeffnung desselben . . . . . = 0''076
13) Oeffnung der dritten Linse . . . = 0''68
14) Oeffnung der vierten Linse . . . = 0''34
15) Oeffnung des Diaphragma im Brennpunkte der letzten Linse . . . . . = 0''46
16) Vergrößerung . . . . . = 15
17) Gesichtsfeld . . . . . = 63 Minuten.
18) Entfernung des Okulardeckels von der vierten Linse . . . . . = 0''29
19) Durchmesser der Okularöffnung . . = 0''17
20) Länge der ganzen Okularröhre . . = 5''75

§. 221. Die vorstehenden Okular-Einrichtungen erschöpfen sonach diejenigen Fälle von Vergrößerungen für verschiedene Brennweiten der Objektive, welche oben §. 174 angegeben worden sind. Uebrigens kann man ohne merklichen Nachtheil für Fokaldistanzen, welche nicht viel von den angegebenen verschieden sind, auch ein und dasselbe Okular gebrauchen, wonach sich nur verhältnißmäßig die Vergrößerung ändert.

Wollte man die Abmessungen für Brennweiten und bestimmte Vergrößerungen, welche nicht unter den angegebenen enthalten sind; so lassen sich diese, wie bereits oben bemerkt worden, durch die Proportionalität aller Theile zu den gegebenen Vergrößerungen und Brennweiten erhalten. Man will z. B. die Einrichtung eines Okulars für ein Objektiv von 8 Zoll Brennweite und 14maliger Vergrößerung; so lassen sich dieselben aus dem Okular VIII entnehmen. Denn da der Gang der Strahlen in dem Okular nahe derselbe bleibt, wenn sich die Vergrößerungen wie die Brennweiten der Objektive verhalten; so verhält sich 12 : 8 = 15 : x, wo x = 10, d. h. dasselbe Okular VIII gilt auch für die Brennweite = 8″ mit der Vergrößerung = 10. Nun wird die Achromaticität des Okulars gleichfalls nicht merklich geändert, wenn alle Theile desselben in dem gemeinsamen Verhältnisse der Vergrößerungen verändert werden (§. 219): folglich erhält man das Okular für 8″ Brennweite und 14malige Vergrößerung, wenn alle Abmessungen des Okulars VIII in dem Verhältnisse wie 14 : 10 vermindert werden. Hiernach sind für dieses neue Okular:

Die vier Fokaldistanzen = 0″92; 0″94; 0″98; 0″71.

Die drei Entfernungen der Linsen = 1″23; 1″60; 1″05.

Die Entfernung des Bildes von der ersten Linse = 0″31

Das Gesichtsfeld = 45 Minuten.

Die Länge der ganzen Röhre = 4″18.

Sollte das Gesichtsfeld größer werden, so müßte man die Abmessungen nach dem Okular V nehmen, wobei jedoch die Röhre länger wird. Hier verhält sich 20 : 26 = 8 : 10.4; folglich müssen alle Abmessungen dieses Okulars in dem Verhältnisse wie 14 : 10.4 vermindert werden. Hiernach werden:

Die vier Fokaldistanzen = 1″16; 1″42; 1″62; 0″89.
Die drei Entfernungen der Linsen = 1″73; 2″66; 1″36.
Die Entfernung des Bildes von der ersten Linse = 0″45.
Das Gesichtsfeld = 57 Minuten.
Länge der Okularröhre = 5″75.

§. 222. Daß übrigens bei der Herstellung dieser Okulare durchaus plankonvexe Linsen genommen werden, ist bereits oben gesagt worden. Die Linsen selbst müssen für jedes einzelne Okular aus einem und demselben Glase seyn, und so gestellt werden, daß die Planflächen der ersten und zweiten Linse dem Objektive, die Planflächen der dritten und vierten Linse aber dem Auge zugekehrt sind; wie dieses schon in der Figur XXXIX angedeutet ist. Bei der Zusammensetzung dieser Okulare ist es übrigens wesentlich, daß die Linsen sämmtlich einander parallel und senkrecht auf die Axe so gestellt werden, daß diese durch deren Mittelpunkt geht; was durch das genaue Abdrehen der Ansatzkanten auf der Drehbank geschieht. Ueber die mechanische Zusammensetzungsweise dieser Okularröhren kann hier nicht gesprochen werden, da sie jedem Optiker bekannt ist, und aus der einfachen Ansicht solcher Okularröhren besser entnommen werden kann, als aus irgend einer Beschreibung.

§. 223. Nur rücksichtlich der praktischen Bestimmung der Brennweiten der zu den Okularen verwendeten Plankonvexlinsen müssen wir noch bemerken, daß diese Bestimmung nicht etwa durch Messungen, sondern durch die Ausführung der genauen Krümmungshalbmesser für den bekannten Brechungsinder geschehen müsse, nach der Formel $r = pa$ (§. 40). Ist z. B. der Brechungsinder des Glases = 1.53, und die Brennweite der Linse soll 1″ 37 werden; so ist der Halbmesser der

Schale, aus welcher die Linse geschliffen und poliert werden muß = 1″37 × 0.53 = 0″726.

Von dem konkaven Okular, oder dem Galiläischen Fernrohr.

§. 224. Wenn das durch ein Objektivglas dargestellte Bild durch eine Konkavlinse betrachtet wird, so entsteht das Galiläische Fernrohr. Den Gang der Strahlen in dieser Verbindung stellt die Figur XLII vor, welche sowohl die mit der Axe parallel auf das Objektiv fallenden Strahlen aus dem Mittelpunkte des entfernten Gegenstandes, als auch die von den äußern Punkten desselben kommenden Parallelstrahlen enthält. Die Brennweite des Objektivs ist CF. Das Hohlglas AB ist nun in diesem Fernrohre so gestellt; daß die negative Brennweite desselben mit dem Brennpunkte des Objektivs F zusammenfällt, also die Entfernung der beiden Gläser gleich ist der Brennweite des Objektivs weniger der negativen Brennweite des Okulars. Die Beschaffenheit dieser letzteren Brennweite ist in der Figur VIII vorgestellt. Hier ist OF diese Brennweite.

§. 225. Die Parallelstrahlen r, s, t, fallen nach ihrem Durchgange durch das Objektiv konvergirend auf die Hohllinse, und werden von dieser von der Axe hinweg in die parallele Lage t, s, r gebrochen (§. 49). Die aus dem Mittelpunkte kommenden Strahlen gehen parallel mit der Axe fort. Wenn nun mn die Oeffnung des Auges oder der Pupille bezeichnet; so werden sowohl die der Axe parallelen, als auch die äußeren mit der Axe divergenten Strahlen in die Pupille treten, und durch die weitere Brechung auf dem Grunde des Auges das Bild so darstellen, daß es aufrecht erscheint, weil

die Strahlen, welche den untern Punkt des Bildes auf der Netzhaut darstellen, von dem über der Axe liegenden Punkte k des Gegenstandes kommen. Das Bild erscheint unter dem Winkel OQr, da die divergenten Strahlen aus dem Punkte Q in das Auge zu gelangen scheinen; während der Gegenstand ohne Gläser unter dem Winkel kCs erscheinen würde. Der Quotient beider Winkel gibt die Vergrößerung, folglich wird die Vergrößerung hier ebenfalls, wie bei dem astronomischen Rohr (§. 156), durch $\frac{P}{q}$ ausgedrückt, oder sie ist gleich der Brennweite des Objektivs, dividirt durch die negative Brennweite des Okulars.

§. 226. Die nützliche Oeffnung des Okulars ist hier also der Augenöffnung gleich; indem Strahlen, welche außerhalb m und n fallen, nicht mehr in diese Oeffnung gelangen können, wenn das Auge unverrückt stehen bleibt. Das Auge muß daher auch dem Okular ganz nahe gebracht werden, wenn die äußeren Strahlen nicht verloren gehen sollen, wodurch das Gesichtsfeld verringert würde. Ist das Okular aber größer als die Augenöffnung, so wird, indem das Auge sich über die Fläche des Okulars hinbewegt, ein größeres Gesichtsfeld übersehen. Das Gesichtsfeld hängt übrigens in dieser Art von Fernröhren auch noch von der Oeffnung des Objektives ab: denn die Betrachtung der Figur zeigt, daß von den Strahlen, welche gegen den Rand des Objektives einfallen, immer noch ein Theil in das Ange gelangen kann, während ein anderer das Auge bereits vorbeigeht. Für den Fall der unverrückten Lage des Auges ist das Gesichtsfeld $= \frac{x}{p-q}$ (§. 159) $= \frac{m}{m-1} \cdot \frac{w}{p}$,

wo w den Durchmesser der Augenöffnung bezeichnet, welcher

hier = 0″10 angenommen werden kann, da die Pupille sich beim Sehen durch dieses Rohr zu erweitern strebt.

§. 227. Dieses Fernrohr wird nur zu Taschen- und Theaterperspektiven verwendet, wozu es sich wegen der aufrechten Stellung des Gegenstandes, und des erweiterten Gesichtsfeldes bei einer geringen Vergrößerung besonders eignet. Zu diesem Zwecke macht man das Objektiv breit, und gibt auch dem Okular eine viel größere Breite, als die Oeffnung der Pupille beträgt, damit das Auge, wenn es sich über demselben fortbewegt, ein größeres Gesichtsfeld übersehen könne. Doch muß man auch hier, um die Verzerrungen am Rande zu vermeiden, dem Okular keine größere Oeffnung geben, als die Hälfte oder höchstens $\frac{6}{10}$ seiner Brennweite. Wegen der Verminderung der sphärischen Abweichung ist es vorzuziehen, die Okularlinse plankonvex zu machen.

§. 228. Die achromatischen Objektive zu diesen Perspektiven werden nach den oben angegebenen Regeln verfertigt mit der Abänderung, daß die zweite Fläche der Flintlinse plan gemacht wird, weßhalb man die Krümmungshalbmesser für die beiden inneren, und für die erste Fläche auf dieselbe Art berechnet oder reducirt, wie dazu bereits oben (§. 111) ein Beispiel gegeben worden ist. Die Herstellung des Objektivs für diesen Zweck wird dadurch nicht nur erleichtert, sondern auch der Vortheil erhalten, daß die inneren Halbmesser größer werden, dem Objektiv folglich eine größere Oeffnung gegeben werden kann. Ein Rückstand der beiden Abweichungen kommt bei der geringen Vergrößerung, die ein solches Objektiv zu tragen hat, nicht in Betracht.

Beispiel. Für das §. 111 angegebene Brechungs- und Zerstreuungsverhältniß, und nach den dort berechneten Dimensionen wird für das Objektiv von 5 Zoll Brennweite,

der Halbmesser der ersten Fläche = 2‴33
= = = der zweiten und dritten Fläche = 2‴07
= = = die vierte Fläche plan.

Man kann diesem Objektiv $\frac{6}{10}$ des Halbmessers der inneren Flächen, also $1\frac{1}{4}$ Zoll Oeffnung geben. Die negative Brennweite des Okulars kann 1 Zoll betragen, und $\frac{5}{10}$ Zoll Oeffnung erhalten. Die Vergrößerung ist sonach 5mal, und die Länge des Rohrs 4 Zoll. Das Gesichtsfeld beträgt für das unverrückte Auge 85 Minuten, das sich jedoch durch die allmälige Uebersicht, nämlich durch die Verrückung der Pupille über der Okularfläche vergrößert. Die beiden Gläser des Objektivs können durch eine dünn aufgestrichene Auflösung von reinem Mastix in Weingeist mit den beiden inneren Flächen zusammengeleimt werden.

§. 229. Der Grund, warum das Galiläische Fernrohr nicht für stärkere Vergrößerungen gleich dem astronomischen angewendet wird, liegt in dem verhältnißmäßig kleinen Gesichtsfelde. Denn es sey z. B. die Vergrößerung 3omal bei der Fokallänge des Okulars von $\frac{1}{2}$ Zoll: so ist die Brennweite des Objektivs = 15 Zoll. Das Gesichtsfeld des Galiläischen Rohrs von diesen Dimensionen ist nun $= \frac{0'''1}{14.'''5} \times 3438 = 23.7$ Minuten, während das Gesichtsfeld des Rohrs mit konvexem Okular, dessen Oeffnung also der Hälfte seiner Brennweite gleich seyn kann $= \frac{0.'''25}{15.5} \times 3438 = 55.4$ Minuten ist.

§. 230. Man kann dieses Perspektiv auch mit einem achromatischen Konkavokular versehen, welches nach denselben Regeln und Verhältnissen konstruirt ist, als die achromatischen Objektive, nur mit dem Unterschiede, daß die Halbmesser der beiden Linsen im entgegengesetzten Sinne genommen werden; also die Spiegelglaslinse konkav und die Flintglaslinse konvex

wird, so daß also der Brechungsüberschuß auf Seite der konkaven Linse ist. Wenn wir das so eben gegebene Beispiel beibehalten, so würde z. B. für eine solche achromatische Konkavlinse der Halbmesser der ersten Fläche konkav mit 2″33 Halbmesser, die zweite Fläche konkav mit 2″07 Halbmesser; die dritte Fläche konvex mit demselben Halbmesser; die vierte Fläche plan. Letztere ist dem Auge zugekehrt. Allein da bei der konkaven Okularlinse die sphärische Abweichung nur gering ist, und die achromatische bei der geringen Vergrößerung und bei dem achromatischen Objektive kaum in Betrachtung kommt, überdem ein solches achromatisches Okular nur eine viel kleinere Oeffnung erhalten kann, als eine plankonkave Linse: so ist diese Einrichtung nicht zu empfehlen. Das gut gearbeitete plankonkave Okular genügt hier den Forderungen, die man machen kann, nur muß es aus reinem und fehlerfreien Glase hergestellt, und vollkommen gut polirt seyn, damit die von dem Objektiv kommenden Strahlen, welche nur an einer kleinen Stelle des Okulars durchgehen (§. 226), kein Hinderniß erleiden.

Fünfter Abschnitt.

Von der technischen Ausführung der optischen Arbeiten zur Herstellung des Fernrohrs.

§. 231. Es ist hier nicht die Absicht, die gewöhnlichen Handgriffe und Verfahrungsweisen zu beschreiben, welche jedem praktischen Optiker bekannt sind, und vermöge seiner Beschäftigung bekannt seyn müssen. Zu mittelmäßigen Arbeiten bedarf es keiner Anleitung. Dagegen werde ich hier diejenigen Verfahrungsarten mittheilen, welche zur vollkommenen Herstellung der Linsen eines Fernrohrs nöthig sind, und welche daher mehr Genauigkeit erfordern, als die Arbeiten zu gewöhnlichen optischen Zwecken, — Verfahrungsarten, welche einem großen Theile der Optiker noch weniger bekannt seyn dürften. Diese Genauigkeit in der Ausführung ist zu einem guten Erfolge eben so wesentlich, als die Kenntniß der richtigen Verhältnisse selbst. Ich werde daher hier noch das Nöthige 1) von dem Schleifen der Linsen zu den Fernröhren; 2) von dem Centriren derselben; 3) von der Zusammensetzung des Objektivs, 4) von der Centrirung des Rohres angeben, und dann diese Abhandlung mit einigen praktischen Bemerkungen über die Herstellung eines tauglichen Glases schließen.

I.

Von dem Schleifen der Linsen zu den Fernröhren.

§. 232. Wenn das Objektiv den Forderungen entsprechen soll; so müssen die berechneten Halbmesser genau ausgeführt werden. Bei den Objektiven des sel. Fraunhofer ist diese Ausführung, wie schon die oben angeführten Beispiele zeigen, in einem hohen Grade genau, und hierin liegt auch ein Grund der wesentlichen Vorzüge derselben *). Das Schleifen der zu dem Objektive gehörigen Linsen muß daher mit der möglichsten Genauigkeit und Sorgfalt geschehen. Es gibt hierzu zwei Wege,

a) durch das Schleifen aus freier Hand,

b) das Schleifen aus dem Radius.

---

*) Als einen weiteren Beweis dieser Genauigkeit und zugleich als ein Vorbild des Künstlers, das er zu erreichen streben soll, führe ich hier noch zwei Fraunhofer'sche Objektive von 48‴ Linien Oeffnung an, deren Krümmungshalbmesser Herr Professor Stampfer auf die früher angezeigte Weise gemessen hat.

Halbmesser des ersten Objektivs.

Konvexlinse.			Konkavlinse		
Erste Fläche	=	41.″800	Erste Fläche	=	16″971
zweite =	=	16.″651	zweite =	=	75″612
Brechungsinder	=	1.5308	Brechungsinder	=	1.6165

Halbmesser des zweiten Objektivs.

Konvexlinse.			Konkavlinse.		
Erste Fläche	=	41.800	Erste Fläche	=	16.″972
zweite =	=	16.″638	zweite =	=	75″653
Brechungsinder	=	1.5310	Brechungsinder	=	1.6165.

Das Schleifen aus freier Hand.

§. 233. Man verfährt hierbei auf folgende Weise. Auf einem ebenen und hinreichend starken Stück Kupferblech zieht man mit der Zirkelspitze aus einem Halbmesser, welcher dem Krümmungshalbmesser der zu schleifenden Linsenfläche gleich ist, einen Bogen, dessen Länge etwas größer als die der Linse zu gebende Breite ist, und einen ganz gleichen Bogen auf einem zweiten ähnlichen Stücke Kupferblech. Man schneidet und feilt nun genau die beiden Bogen so aus, daß bei dem einen das Blech außerhalb, bei dem zweiten innerhalb des Bogens weggenommen wird: so hat man zwei Leeren, die erstere für die konkave, die zweite für die konvexe Schleifschale von gleichem Krümmungshalbmesser.

Man nimmt nun zwei kreisförmige Platten von Messingblech, etwa eine Linie dick, deren Durchmesser einen halben Zoll größer ist, als die Breite der zu schleifenden Linse, und löthet eine jede dieser Platten auf einen Cilinder von Blei von demselben Durchmesser, und je nach der Größe der Schale, 1 Zoll und darüber hoch, damit keine Biegung möglich werde. Diese Platten werden nun in eine Drehbank eingespannt, und die eine nach der konvexen Leere konkav, die zweite nach der konkaven Leere konvex möglichst genau ausgedreht.

Für Linsen von geringerem Krümmungshalbmesser verfertigt man diese Schalen entweder aus einem ganzen Messingstücke; oder man gibt dem Messingbleche, bevor es auf das Bleistück gelöthet wird, durch Ausschlagen die beiläufige hohle oder konvexe Form, was die Arbeit beim nachfolgenden Ausdrehen erleichtert. Sind beide Schalen gehörig abgedreht, so werden sie nun mit dem feinsten Schmirgel in einander ausgeschliffen, so daß sie sich in

allen Theilen genau berühren: wornach die Schleifschalen zum Gebrauche vorbereitet sind.

§. 234. Ist man mit der Beschaffenheit des Glases, das man verarbeitet, noch nicht bekannt, so muß das zur Linse zu verwendende Stück vorerst auf beiden Seiten eben und so viel möglich parallel geschliffen, und etwas polirt werden, um zu entdecken, ob nicht Streifen oder Wellen in dem Glase vorhanden sind.

Das Glas wird vorher gehörig ausgeschnitten, und auf dem Schleifstein sowohl am Rande selbst als auch nach der beiläufigen Form gegen den Rand abgerundet. Es wird nun mit einem Griffe versehen, der aus einer runden an der Rückseite mit einer Schraube versehenen Messingplatte besteht, die etwas weniger im Durchmesser als das Glas, und etwa $\frac{2}{3}$ seiner Dicke hat.

Sie wird mit ihrer Schraube in die Spindel oder Docke einer Drehbank eingeschraubt, und der Rand auf derselben abgedreht. Dabei wird sie zugleich so weit ausgedreht, daß sie beiläufig nach der Leere der Schleifschale geformt ist, um gut auf die Glasfläche zu passen.

Auf diese wird sie nun mit Pech aufgekittet, und zwar so, daß dieses nicht in einer zusammenhängenden Masse, sondern in von einander entfernten Tropfen auf das etwas erwärmte Glas gebracht, und sonach die etwas erwärmte Messingplatte auf dasselbe so angedrückt wird, daß der Mittelpunkt der Platte mit dem Mittelpunkte des Glases zusammenfällt. Diese Platte dient nicht nur als Griff, indem die Finger an den Rand derselben angesetzt werden, sondern sie hindert auch das Biegen des Glases, zu welchem letzteren Behufe auch die Stellenweise Auftragung des Peches dienet, damit bei dem Erkalten desselben keine unnatürliche Spannung in dem Glasstücke hervorgebracht

werde, was der Fall seyn würde, wenn die ganze Glasfläche mit dem Pech in Berührung wäre. Das Pech muß gewöhnliches weiches seyn (das noch einen Theil Terpentinöhl enthält) und nicht gesottenes Pech oder Geigenharz, das wegen seiner Sprödigkeit nach dem Erkalten ebenfalls eine Biegung des Glases hervorzubringen geneigt ist.

Bei größeren Linsen, wo die Flächen sich nicht am Rande schneiden, (wie auch bei den Konkavlinsen) ist es für die nachfolgenden Operationen vortheilhaft, nunmehr sogleich den Rand auf der Drehbank gehörig rund zu schleifen, was mit gröberem Schmirgel und Wasser geschieht, welcher bei dem Umlaufen der Linse durch ein in den Support eingespanntes Stück Messing mit dem Rande in Berührung gebracht wird. Dadurch ist man zugleich versichert, daß der Mittelpunkt des Griffes mit dem Mittelpunkte des Glases zusammenfalle.

§. 235. Ist das Glasstück auf diese Art vorbereitet; so erfolgt das Schleifen desselben in der Konvex- oder Konkavschale; je nachdem die Fläche konkav oder konvex werden soll, nachdem diese Schleifschale auf einem Tische oder einem Stocke gehörig befestiget worden ist. Man führt das Glas, in dessen Griff ein Stiel eingeschraubt worden seyn kann, damit die Wärme der Hand nicht auf dasselbe wirke, etwa 6mal im Kreis herum, führt es dann 2 oder 3mal über Kreuz nach dem Durchmesser der Schale in verschiedenen Richtungen, und fährt auf diese Art abwechselnd fort. Das Glas muß dabei so geführt werden, daß sein Mittelpunkt niemals über die Kante der Schale hinausgeht; dabei auch niemals ein merklicher Druck angewendet werden. Zu diesem ersten Schleifen wird gröberer Schmirgel genommen. Während des Schleifens wird die Schale immer gehörig befeuchtet erhalten, so daß sie niemals an einzelnen Stellen trocken werden kann.

Hat das Glas seine Form erhalten, und berührt es die Schale in allen Punkten, so wird der Schmirgel weggewaschen, und nach und nach feinerer an dessen Stelle gebracht, und immer auf dieselbe Art durch abwechselnde kreisförmige und transversale Züge das Schleifen fortgesetzt, bis alle Risse und Eindrücke von der Glasfläche völlig verschwunden sind, und dasselbe eine gleichförmige feine matte Fläche erhalten hat. Nachdem der feinste Schmirgel *) angewendet worden ist, setzt man das Schleifen noch einige Zeit mit fein gepulvertem Bimsstein fort, wodurch die Fläche die Rauhheit verliert, und einen Anfang von Politur erhält. Während dieser Arbeit, und immer nach fünf Minuten, muß die konvexe Schleifschale einige Sekunden lang auf der hohlen geschliffen werden, damit beide immer genau ihre Krümmung behalten. Ohne diese Vorsicht und Sorgfalt ist schon nach dem Schleifen einer einzigen Linse, ja ehe das Schleifen für diese selbst noch beendigt ist, die Form der gebrauchten Schleifschale nicht mehr richtig.

§. 236. Ist auf diese Art die eine Fläche der Linse vollendet; so wird das Glas von dem Griffe (durch Einschieben

---

*) Den Schmirgel von verschiedener Feinheit stellt man auf folgende Art her. Man nimmt fünf oder sechs reine Gefäße, füllt eines derselben mit reinem Wasser, und gibt eine bedeutende Quantität fein gemahlenen Schmirgels hinein. Man rührt es mit einem Holze gut um, und wenn es fünf Sekunden lang nach Aufhören des Rührens gestanden hat, gießt man das Wasser in das zweite Gefäß, wobei der Bodensatz zurückbleibt. Nachdem es hier zwölf Sekunden lang gestanden hat, schüttet man es mit Zurücklassung des Bodensatzes in das dritte Gefäß; und so wieder nach zwölf Sekunden in das vierte und so weiter. Auf dem Boden eines jeden Gefäßes findet sich nun der Schmirgel von verschiedenen Graden der Feinheit; der gröbste ist in dem ersten, und der feinste in dem letzten Gefäße.

der Klingenspitze eines Federmessers zwischen der Messingplatte und dem Glas) abgenommen, und der Griff nach der angezeigten Weise auf der anderen Fläche des Glases befestiget. An der Fläche noch anhängende Pechstückchen werden mit Weingeist weggewaschen. Diese zweite Fläche wird nun auf dieselbe Art im Schleifen vollendet.

Bei diesem Aufkitten der zweiten Fläche muß man darauf sehen, daß die Linse so viel wie möglich centrisch an dem Griffe befestiget werde, d. h. daß der Mittelpunkt der beiden Flächen mit dem Mittelpunkte des Griffes oder seiner Schraube in einer geraden Linie liege; sonst verlängert man die Arbeit des Schleifens sowohl, als des nachfolgenden Centrirens. Zu diesem Behufe schraubt man den noch etwas warmen Griff mit der aufgekitteten Linse wieder in die Spindel oder Docke der Drehbank; spannt in den Support einen Grabstichel ein, dessen Spitze man gegen die äußere Peripherie der bereits geschliffenen Fläche (wo sie den Rand schneidet) richtet, und rückt nun die Linse, welche sich auf dem Griffe, da das Pech noch weich ist, beliebig verschieben läßt, so lange hin und her, bis die Pheripherie der geschliffenen Fläche bei der ganzen Umdrehung der Linse unter der Spitze des Grabstichels läuft, ohne rechts oder links abzuweichen, und ohne sich von jener Spitze in der zu der Drehspindel senkrechten Richtung mehr oder weniger zu entfernen. In dieser Lage läßt man nun Griff und Linse erkalten. Hat man diese Richtung genau vorgenommen, so wird, nachdem auch die zweite Fläche geschliffen ist, der Rand der Linse überall gleich dick seyn, oder es werden die beiden Peripherien der Flächen einander parallel laufen. Genauer kann diese Richtung noch hergestellt werden, wenn man sich dazu eines einfachen Fühlhebels, nach der weiter unten §. 274 angegebenen Weise, bedient, dessen kurzen Arm

man an die bereits geschliffene Fläche anlegt, während diese umgedreht wird.

§. 237. Beide Flächen müssen nun polirt werden. Zu diesem Ende wird eine Mischung aus gleichen Theilen Pech und Geigenharz (Kolophonium) geschmolzen, und dieselbe noch heiß durch eine feine Leinwand gedrückt, um alle Unreinigkeiten abzusondern; wornach man die Mischung so lang erkalten läßt, bis sie eine dickliche Konsistenz angenommen hat. Man nimmt hierauf die Schleifschale, in welcher die nun zu polirende Fläche geschliffen worden ist *), erwärmt dieselbe etwas, damit das Pech daran hafte, und schüttet nun von dem geschmolzenen Peche auf dieselbe so viel, als nöthig ist, um dieselbe in ihrer ganzen Fläche etwa $\frac{1}{8}$ Zoll hoch damit zu bedecken. Man drückt dann in diese mit dem schon zäh werdenden Peche versehene Schale die konvexe Schleifschale auf, deren Fläche gänzlich trocken, rein und kalt seyn muß, um dem Peche die Form dieser Schale zu geben; man taucht dann die Polirschale in kaltes Wasser, bis das Metall gänzlich abgekühlt ist.

§. 238. In dieser Pechschale wird nun das auf die vorige Art mit dem Griffe versehene Glas mittelst derselben kreisförmigen und Kreuzzüge, wie vorhin, mit Kolkothar **)

---

*) Damit diese Schale rein erhalten, und gleich wieder zum weiteren Schleifen verwendet werden könne, kann man hierzu eigene Polirschalen verfertigen, ganz von denselben Dimensionen, wie die zugehörigen Schleifschalen, die jedoch nicht wie diese aneinander ausgeschliffen, sondern nur nach der Leere genau ausgedreht zu seyn brauchen.

**) Der Kolkothar ist rothes Eisenoxyd, welches entsteht, wenn man vorher kalcinirten oder von seinem Wasser befreiten Eisenvitriol in einem hessischen Schmelztiegel ausglüht, wodurch die Schwefelsäure davon geht, und dieses Oxyd als ein fei-

und Wasser polirt, bis seine beiden Flächen die vollkommene Politur erhalten haben. Damit bei dieser Arbeit sich an der Pechfläche nicht an einzelnen Stellen das Polirmittel oder abgerissene Pechtheile anlegen, wodurch die Figur der Pechschale und des Glases würde verändert werden; so werden vor dem Gebrauche in dieselbe, nachdem das Pech ganz erkaltet ist, Kreuzlinien in der Entfernung von ½ bis 1 Zoll von einander, und etwa eine Linie breit eingeschnitten. Man zieht nämlich eine solche Furche durch den Mittelpunkt in der Lage des Durchmessers, eine zweite senkrecht auf die vorige durch den Mittelpunkt und die übrigen Furchen parallel diesen beiden. Diese Furchen nehmen alle überflüssigen Theile auf, so daß die Polirfläche rein und in ihrer Form erhalten wird.

§. 239. Man kann bei dieser Pechschale übrigens auch eben so verfahren, wie früher bei der Schleifschale, daß man nämlich von Zeit zu Zeit mit der zweiten Schleifschale und feinem Schmirgel die Pechschale ausschleift, und nach diesem Ausschleifen mit Wasser auswascht, um so nach ihre Form zu erhalten.

Das Poliren der Gläser, deren Flächen genau die ihnen durch das Schleifen gegebene Form behalten sollen, ist eine delikate Sache und erfordert Geduld und Vorsicht. Die Ar-

---

nes rothes Pulver zurückbleibt. Bei der Bereitung der Schwefelsäure (des Vitriolöhls) aus Eisenvitriol bleibt dasselbe als Rückstand in der Retorte. Der käufliche Kolkothar (Eisenroth) enthält gewöhnlich noch etwas Schwefelsäure, welche vor seiner Anwendung zum Schleifen der optischen Gläser dadurch entfernt werden muß, daß man ihn mit etwas reinem heißen Wasser übergießt, umrührt, und nachdem er sich gesetzt hat, das Wasser wieder davon abgießt. Ist der Kolkothar nicht vollkommen fein oder etwa mit fremden Theilen verunreinigt, so muß er vorher auf eben diese Weise geschlemmt werden.

heit geht langsam vor sich, damit der Pechkuchen sich nicht erhitze und seine Form verändere. Sollten die Umstände vermuthen lassen, daß eine solche Aenderung vorgegangen sey, so ist es auf jeden Fall räthlich, die Pechschale mit der zugehörigen Schleifschale mittelst ganz feinem Schmirgel und etwas Wasser sanft einige Minuten lang auszuschleifen, sie dann mit einer feinen Bürste und durch aufgegossenes Wasser von dem Schmirgel vollkommen zu reinigen, und hiernach das Poliren fortzusetzen.

Uebrigens kann man die Pechschale auch dadurch herstellen, daß man dem Peche, Statt durch Eindrücken der zugehörigen Schleifschale, die erforderliche Form durch das Aufdrücken der zu polirenden Glasfläche selbst gibt, die jedoch vorher mit ihrem Griffe versehen seyn muß, um das Biegen zu verhindern.

§. 240. Ich muß hier ein für allemal erinnern, daß bei dem Schleifen und Poliren der Gläser deren Größe einen wesentlichen Unterschied in der aufzuwendenden Arbeit und Sorgfalt erfordere. Bei Okularlinsen erfordert das Poliren weniger Sorgfalt, da bei ihrer geringen Fläche hierzu wenig Zeit erforderlich ist, und eine Aenderung der Form dabei weniger zu fürchten ist.

Bei den Gläsern zu achromatischen Objektiven bis zu $1\frac{1}{2}$ Zoll Oeffnung sind die Schwierigkeiten ebenfalls noch nicht bedeutend, und bei einiger Uebung und Sorgfalt wird man nach dem vorstehenden Verfahren stets die berechnete Brennweite und die richtige sphärische Form erreichen können. Sind auch kleine Abweichungen in der sphärischen Form vorhanden; so sind diese bei den geringen Vergrößerungen, die der geringen Oeffnung zugehören, für die Deutlichkeit des Sehens noch nicht merklich.

Diese Schwierigkeiten wachsen aber sehr bedeutend mit der größern Oeffnung der Linse. Fehler in der Form von derselben

Größe, wie bei den kleinen Objektiven, werden hier schon sehr nachtheilig, weil sie durch weit stärkere Vergrößerungen in das Auge fallen, und überhaupt diese Fehler sich wie der Kubus der Oeffnung vergrößeren (§. 171). Je größer die Oeffnung des Objektivs wird, desto mehr wird es also nothwendig, daß nicht nur die sphärische Form der Flächen vollkommen sey, sondern daß auch die Halbmesser dieser Flächen von den berechneten nicht abweichen, weil im letzteren Falle durch die Aenderung der Fokaldistanzen der beiden Linsen auch die Hebung der chromatischen Abweichung unvollkommen seyn würde.

Das Schleifen und Poliren der Linsen zu größeren Objektiven muß also mit aller möglichen Sorgfalt, Geduld und Genauigkeit geschehen, wenn man etwas Vollkommenes zu Stande bringen will. Ein wesentlicher hier zu berücksichtigender Umstand ist das Biegen größerer Linsen, das besonders leicht bei der in der Mitte nur dünnen Flintglaslinse eintritt, und auf dessen Beseitigung, da dadurch die Form der Fläche geändert wird, man stets sein Augenmerk richten muß. Es darf daher aus diesem Grunde bei solchen Gläsern weder bei dem Schleifen noch bei dem Poliren ein zu starker Druck angewendet werden, daher zur zweckmäßigen Vollendung dieser Arbeit auch verhältnißmäßig eine weit längere Zeit erforderlich ist, als für Gläser von kleineren Dimensionen. Ferner ist während des Schleifens und Polirens darauf zu sehen, daß keine bedeutenden Unterschiede in der Temperatur der Schleifschale und des Glases Statt finden, weil durch die dadurch entstandene ungleiche Ausdehnung die richtige Form würde verfehlt werden.

§. 241. Aus diesem Grunde wachsen auch die Preise der größeren Objektive in einem größeren Verhältnisse als jenem der Quadrate der Durchmesser. Z. B. In dem Preiskourant der Herren Utzschneider und Fraunhofer, in welchem

die Preise achromatischer Objektive von 12 bis 72 Linien angegeben sind, wachsen bei den kleinsten Objektiven von 13‴ bis 16‴ die Preise im einfachen Verhältnisse der Oeffnungen; bei den Objektiven von 16‴ bis 24‴ wachsen sie in dem quadratischen Verhältnisse dieser Oeffnungen; so daß für die Oeffnungen von 12‴, 14‴, 16‴, 18‴, 21‴, 24‴

die Preise 13, 15, 18, 21, 28, 44

Gulden, 24 fl. Fuß (mit Einschluß der Fassung) betragen. Von 24‴ Linien bis weiter nimmt jedoch das Verhältniß ferner zu, so daß der Preis der runden Linie (des 144sten Theiles einer Kreisfläche von 12 Linien Durchmesser)

für 24‴, 27‴, 30‴, 33‴, 36‴, 39‴ u. s. w.

0.076, 0.086, 0.096, 0.106, 0.116, 0.126 Gulden

beträgt, und sonach z. B. das Objektiv von 48‴ 356 Gulden kostet, während es nach dem quadratischen Verhältnisse mit dem Objektiv von 21‴ verglichen, nur 130 Gulden kosten würde.

Das Schleifen aus dem Radius.

§. 242. Unter dem Schleifen aus dem Radius oder dem Halbmesser versteht man das Schleifen der Glasflächen mit Hülfe einer Vorrichtung oder Maschine, in welcher die Glaslinse in der Schleifschale durch eine gerade und unbiegsame Stange herumgeführt wird, deren oberes Ende sich in dem Mittelpunkte des Kreises bewegt, von welchem die Stange der Halbmesser ist, und an deren unterem Ende die zu schleifende Glaslinse befestiget ist.

Die ältesten Optiker haben sich schon mit Vorrichtungen dieser Art beschäftiget; und in Zahn's »Oculus artificialis, 1702«, ist eine solche von P. Cherubin angegebene und gebrauchte Maschine beschrieben und abgebildet, zum Gebrauche für Gläser von größeren Krümmungshalbmessern. In dieser

Maschine ist das obere Ende des Radius an einer Halbkugel befestiget, die in einer konkaven unten durchbrochenen Halbkugel von derselben Krümmung läuft, so daß der obere Stiel des Radius in der Oeffnung dieser Schale die nöthige Bewegung machen kann, wie die Figur XLII im Durchschnitte anzeigt, die zugleich von einer solchen Einrichtung eine allgemeine Vorstellung gibt.

Es ist nicht zu zweifeln, daß die Anwendung einer solchen Vorrichtung, zumal für Linsen von größeren Brennweiten, vor dem Schleifen aus freier Hand wesentliche Vorzüge habe, weil ihre Arbeit selbst sphärisch ist, daher durch dieselbe, vorausgesetzt, daß ihre Einrichtung vollkommen sey, nothwendig die richtige Figur der Glasfläche gegeben werden muß. P. Dechales, welcher vor Zahn geschrieben hat, belobt ebenfalls die Wirkung dieser Maschinerie, und führt an, daß er mit derselben selbst auf einer bloßen, ebenen, keineswegs vertieften Unterlage, eine taugliche Glaslinse von längerem Halbmesser geschliffen habe. Ist der Radius richtig aufgehängt, so daß der Mittelpunkt seiner Bewegung sich nicht ändert; so ist es für sich klar, daß durch diese Bewegung die Schleifschale immerfort korrigirt, und in vollkommener Sphäricität, daher auch die Glasfläche selbst erhalten werden müsse.

§. 243. Es ist daher zu verwundern, daß außer den unvollkommenen Vorrichtungen dieser Art von Huygens und Andern, die Optiker, bis auf Fraunhofer, sich nicht mit dem Gebrauche und der Vervollkommnung dieser Vorrichtung abgegeben haben. Es ist indessen bekannt, daß die vollkommene Ausführung der Fraunhofer'schen Objektive, welche, wie wir oben gesehen haben, zu einer großen Genauigkeit gebracht ist, durch das Poliren aus dem Radius erreicht worden ist; und wir können behaupten, daß sie durch dasselbe nur allein erreicht

werden könne. Jeder Optiker also, der sich mit der Herstellung vollkommener Objektive von 24‴ Oeffnung an, befassen will, wird wohl thun, die Anfertigung einer wohl eingerichteten Vorrichtung, aus dem Radius zu schleifen, als eine wesentliche Angelegenheit zu betrachten.

Herrn Fraunhofers Vorrichtung, aus dem Radius zu schleifen, ist nicht bekannt gemacht worden. Es ist zu erwarten, daß dieser ausgezeichnete und gelehrte Künstler derselben jede Vollkommenheit werde gegeben haben. Derselbe Zweck ist übrigens durch verschiedene Mittel zu erreichen, und es kommt hier wesentlich nur darauf an, daß man die Bedingungen erfülle, welche für den vollkommenen Erfolg nothwendig sind, und hiernach diejenige Anordnung trifft, die man für die zweckmäßigste hält.

§. 244. Diese aus der Natur der Sache hervorgehenden Bedingungen sind folgende:

1) Der Radius muß so aufgehängt seyn, daß die Länge desselben unveränderlich bleibt, oder unveränderlich erhalten werden kann, folglich die genaueste Korrektion rücksichtlich dieser Länge möglich ist.

2) Die Stange, welche den Radius bildet, muß unbiegsam seyn, auch während der Arbeit nicht zum Biegen forcirt werden können.

3) Ihre Verlängerung oder Verkürzung durch Wärme und Kälte muß vermieden werden, damit keine Aenderung des Halbmessers während der Arbeit entstehe.

4) Sowohl der Ansatz der zu schleifenden Linse an dem unteren Ende des Radius, als die Auflage für die Schleifschale müssen gehörig adjustirt werden können, damit der Mittelpunkt der Schleifschale mit dem Mittelpunkte des Glases zusammenfalle, und beide in der Axe des Radius liegen.

§. 247. Diese Bedingungen können auf folgende Weise erreicht werden.

Die zweckmäßige Art, den Mittelpunkt des Radius zu fixiren und zu kontrolliren, ist bei dieser Vorrichtung die Hauptsache. Die beste Aufhängungsart bleibt immer jene mittelst einer Kugel. Wenn in der Figur XLIII die Halbkugel sich in der koncentrischen Schale bewegt; so ist klar, daß der Mittelpunkt c, von welchem aus die Länge des Radius gemessen werden muß, unbeweglich bleibe, so lange die Figur dieser Kugel oder der Schale sich nicht ändert. Die hier angegebene Aufhängungsart hat jedoch den Nachtheil, daß die Stange durch den untern Theil der Schale durchgeht. Ist nun diese Oeffnung bedeutend groß, wie sie doch seyn muß, damit das aus Metall zu verfertigende Ende der Stange so dick sey, daß es sich weder strecken noch biegen könne; so muß die Halbkugel selbst groß werden. Mit ihrer Größe wächst aber auch die Leichtigkeit, ihre Figur durch Abnützung zu verändern, und in der Konkavschale zu schlottern. Ist die Kugel aber klein, und bewegt sie sich Statt in einer Schale in einem hohlen Kegel, so hat sie stets eine feste und genaue Lage bei jeder Drehung um ihren Mittelpunkt.

§. 248. Die nachfolgende Art der Fixirung und Kontrolirung des Mittelpunkts, bei welcher ich nach längerem Nachdenken und Vergleichen, dessen Detail hier anzuführen überflüssig wäre, stehen geblieben bin, scheint mir allen Forderungen zu genügen. Figur XLIV a ist ein an den Hauptträger befestigtes Metallstück. In diesem befindet sich der metallene Cilinder b, 1 bis 1¼ Zoll im Durchmesser, dergestalt genau eingeschliffen, daß er sich vollkommen genau und ohne die mindeste Schlotterung in der cilindrischen Höhlung auf und ab bewegt. An dem unteren Ende dieses Cilinders befindet sich der

hohle Kegel c eingedreht, in welchem die kleine stählerne Kugel, deren Mittelpunkt der Mittelpunkt des Radius ist, sich bewegt. Diese kleine Kugel hat höchstens $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser, ist vollkommen genau gearbeitet, glashart gehärtet, und vollkommen polirt. Der Cilinder selbst ist von Gußmetall, und oben mit einer Kugel versehen, um die Leichtigkeit des Niedersinkens zu befördern.

Am oberen Ende des Stückes a ist ein kleiner Träger d befestigt, welcher den Fühlhebel f trägt, dessen kurzer Arm mittelst einer kleinen Kugel auf dem oberen Ende des Cilinders aufruht, und sonach die kleinste Bewegung desselben anzeigt. Der Stand dieses Fühlhebels bestimmt also auf das genaueste die absolute Lage der in dem Kegel c anliegenden kleinen Kugel und ihres Mittelpunkts, und kontrollirt dadurch beständig die Länge des Radius, dessen Mittelpunkt sich in c bewegt, wie in dem Folgenden näher detaillirt wird. Die Herstellung eines solchen sich genau verschiebenden Cilinders hat auf einer Supportdrehbank keine Schwierigkeit.

Die Beweglichkeit des Cilinders bei dieser Einrichtung hat den Vortheil, daß der Druck desselben auf die kleine Kugel deren stetes und gleichförmiges Anliegen an den hohlen Kegel bewirkt, und versieht man die Stange mit den in der Figur XLV angegebenen Balanciergewichten; so hat man es in der Gewalt, den gleichförmigen Druck derselben auf die Reibschale willkührlich zu bestimmen: was die Arbeit sehr fördert, da zu Anfang des Schleifens ein stärkerer Druck angewendet werden kann, als gegen das Ende. Die weiteren Vortheile werden aus der näheren gleich folgenden Beschreibung dieser ganzen Vorrichtung, wie sie in der Figur XLV vorgestellt ist, erhellen.

§. 249. Als Material für die Stange des Radius eignet sich sehr gut das in der Wärme ausgetrocknete und dann gefir-

nißte Fichtenholz, da dieses durch Temperaturverschiedenheit keine Veränderungen erleidet. Außerdem ist ein metallenes Rohr, das man, wie zu Fernröhren, auf einer Ziehbank gezogen hat, sehr brauchbar, da es bei geringem Gewichte eine große Stärke hat, und mehr als eine massive Stange der Biegung widersteht; Eigenschaften, die ihm hier vielleicht vor jedem andern Materiale den Vorzug geben. Der Durchmesser desselben muß sich nach der Länge richten, damit jedesmal die erforderliche Steifheit vorhanden sey. Wollte man ein solches Rohr nicht cilindrisch nehmen, so müßte man ihm gegen die Mitte eine größere Dicke geben, wobei man bei gleicher Festigkeit an Material ersparen würde.

Stellt man die Stange von Holz her, so ist es gleichfalls am besten, dieselbe aus einzelnen geraden Stäben von Fichtenholz, die über Scheiben, welche auf die Axe senkrecht sind, befestiget werden, in Form einer hohlen Röhre herzustellen. Die Stäbe können in einiger Entfernung von einander angebracht werden, wodurch das Ganze Leichtigkeit und doch viel Festigkeit erhält. Diese Art, die Radiusstange herzustellen, ist für jede Länge brauchbar.

§. 250. In jedem Falle wird diese Stange, sie sey nun aus Holz oder Metall, oben und unten mit einem metallenen Beschlage versehen, um oben die kleine Kugel, unten die Fassung zur Aufnahme der Glaslinse anzubringen. Das Ganze einer solchen Vorrichtung ist in der Figur XLV nach derjenigen Einrichtung, welche mir die zweckmäßigste scheint, und alle obigen Forderungen befriedigt, dargestellt.

A ist der Hauptträger, am besten von Stein, der Dauer und Unwandelbarkeit wegen. An demselben ist das Metallstück B mit dem beweglichen Cilinder b, der in Figur XLIV für sich vorgestellt ist, durch die Schraube a befestiget. Diese

Schraube mit dem Stücke B läßt sich durch einen in dem Steine befindlichen senkrechten Schlitz abwärts bis gegen Z bewegen, damit man auch kürzere Stangen für Linsen von kleinerem Halbmesser einsetzen könne. In dem unteren Theile des beweglichen Cilinders b ist in c der hohle Kegel befindlich, in welchem die kleine stählerne Kugel zu laufen hat. Die größere stählerne Schraube T, in welche die kleine Kugel mit ihrem Halse eingeschraubt ist, und welche mit einem etwas feinen Schraubengewinde versehen ist, ist in die massive messingene Hülse S eingeschraubt, so daß die ganze Radiusstange um diese Schraube gedreht und dadurch verkürzt oder verlängert werden kann.

§. 251. Damit die Schleifschale mit der Glaslinse parallel und senkrecht auf die Axe des Radius gestellt werden könne, ist die Vorrichtung mittelst der Stell- und Ziehschrauben angeordnet, wie die Figur angibt. f ist die an die Stange befestigte Platte, durch welche drei Paar Schrauben gehen, von denen drei Stücke die zweite Platte g, in welche der Griff T mit dem aufgekitteten Glase eingeschraubt ist, an die obere anziehen, die drei übrigen aber dieselbe von der oberen abdrücken, so daß sie in beliebiger Entfernung und Richtung festgestellt werden kann, wie diese Vorrichtung in andern ähnlichen Fällen gewöhnlich ist.

In dem Steine B, welcher mit dem Hauptträger fest verbunden, oder am besten mit demselben aus einem Stücke ist, ist die runde Eisen- oder Messingplatte h fest eingelassen und eingekittet, so viel möglich in horizontaler Lage. Ueber dieser Platte befindet sich die zweite Platte i, durch welche ebenfalls drei Druck- und drei Ziehschrauben gehen, um diese zweite Platte mit der in dieselbe eingeschraubten Schleifschale in beliebiger Lage feststellen zu können. Figur XLV 1, enthält die

obere Ansicht einer solchen Platte mit den sechs Schraubenöffnungen.

§. 252. An dem oberen Theile des Metallstückes B ist an dem Arme ou der Fühlhebel vw angebracht, der sich um den Punkt u dreht, und, wie oben erwähnt, mit einer kleinen Kugel, in welche sich der kürzere Arm endet, auf der oberen Kante des beweglichen Cilinders b ruht, und dessen Spitze w auf einen Gradbogen weist. Diese Spitze deutet im vergrößerten Maßstabe kleine Erhebungen und Senkungen dieses Cilinders an. Beträgt der kurze Arm dieses Fühlhebels = $\frac{1}{4}$ Zoll, und der lange Arm = $12\frac{1}{2}$ Zoll; so wird durch das Ende dieses Armes die Bewegung des kürzeren 50mal vergrößert. Wenn also der Cilinder sich um $\frac{1}{100}$ Linie hebt oder senkt, so wird dieses auf dem Kreisbogen durch eine Bewegung durch den Raum von einer halben Linie, der folglich sehr leicht mit freiem Auge bemerkbar ist, angezeigt. Damit für größere Veränderungen der Lage dieses Cilinders dem kurzen Arm des Fühlhebels die gehörige Lage gegeben werden könne, ist der Träger ou um ein Gewind streng beweglich.

Die beiden Gewichte s heben endlich einen Theil des Gewichtes der Stange mit der daran befestigten Glaslinse auf. Die Schnüre sind an einem Ringe befestigt, der locker um die Stange liegt, und durch einige Stifte über und unter demselben gehalten wird, damit, wenn die Stange um ihre Axe gedreht wird, die Schnüre ihre Lage behalten. Vermittelst dieser Schnüre, an denen die Gewichte hängen, kann die Radiusstange auch in die Höhe gezogen, und unten von der Reibschale entfernt, auch in dieser Lage erhalten werden, wenn man die Schnüre an einem Haken befestiget.

Es ist bereits oben erinnert worden, daß der Cilinder b einen beständigen Druck auf die kleine Kugel auszuüben habe.

Sollte der Cilinder etwas strenge sich bewegen, so ist es daher nothwendig, das obere Ende desselben noch mit einem Gewichte zu beschweren, weßhalb in diesem eine Schraubenmutter eingeschnitten seyn kann, um das Gewicht an einem Stiele darin einzuschrauben, wie ebenfalls in der Figur angegeben ist.

§. 253. Wenn mit dieser Radiusvorrichtung gearbeitet wird; so werden mit derselben zuerst die beiden Schleifschalen*) ausgeschliffen und dadurch genau korrigirt. Sie werden nämlich, die konkave unten und die konvexe oben, auf die beschriebene und in der Figur angegebene Weise eingeschraubt, und mit den Stellschrauben gerichtet, so daß sie gut aufeinander passen. Bewegt man sie nun langsam aufeinander, so zeigen die Bewegungen des Fühlhebels an, ob ihre Flächen einander parallel stehen: denn wäre Letzteres vollkommen der Fall, so müßte der Fühlhebel ruhig bleiben, weil dann keine Bewegung des Cilinders b auf- und abwärts erfolgen kann. Im Gegenfalle richtet man die beiden Scheiben mittelst der Stellschrauben noch weiter, bis der Fühlhebel nicht mehr stark nach einer oder der anderen Seite ausschlägt, sondern nur kleine Schwankungen macht, welche letztere eine Folge der unvollkommenen Figur der Schalen sind. Man schleift nun, wie oben angegeben, die beiden Schalen mit Schmirgel und Wasser in einander, bis der Fühlhebel die parallele Vollendung ihrer Form anzeigt. Die Schleifschalen haben nun unter den nachher anzugebenden Vorsichten und genauer detaillirten Verfahrungsweisen genau die Krümmung, welche zu dem Halbmesser gehört, dessen Länge

---

*) Es ist am besten, die zu dieser Vorrichtung gehörigen Schleifschalen aus einem ganzen Stücke gegossenen Messings herzustellen.

von dem Mittelpunkt der kleinen Kugel c bis zu dem Mittelpunkte der unteren Schleifschale gemessen ist.

§. 254. Da das Schleifen der Schalen auf diese Art genauer ist, als jenes aus freier Hand, indem die, etwa fehlerhafte, Figur der Schalen dadurch auf das genaueste korrigirt wird; so ist es zu empfehlen, alle Schleifschalen, welche zu genaueren Linsen gehören, auch wenn man letztere nicht aus dem Radius bearbeiten will, auf diese Art mit dem Radius zu adjustiren.

Nachdem die Schleifschalen vollendet sind, wird die Linse auf den mit der Schraube versehenen Griff auf die bereits früher angegebene Weise aufgekittet, dann in die Platte g eingeschraubt, und durch die Stellschrauben wie vorher gehörig gerichtet. Die Linse hat übrigens schon vorher im Gröberen die erforderliche Form erhalten, damit nicht zu viel Zeit verloren werde. Das Schleifen geschieht ganz auf dieselbe Weise, wie oben bereits angegeben worden, indem die Radiusstange mit der Hand herumgeführt wird. Auch hier gibt der Fühlhebel die Anzeige des genauen Parallelismus der Glasfläche mit jener der Schleifschale, und sonach der Vollendung ihrer Form. Je mehr das Glas sich der Vollendung nähert, desto mehr wird der Druck der Stange auf die Schleifschale durch die Vermehrung der Gewichte s vermindert.

§. 255. Das Poliren der Gläser kann ebenfalls in der hier beschriebenen Vorrichtung aus dem Radius, ganz nach der oben für das Poliren aus der Hand angegebenen Weise und zwar mit der größten Genauigkeit, vorgenommen werden; weil man es bei derselben in der Gewalt hat, jeden beliebigen Druck anzuwenden. Es ist dabei kein Verderben der richtigen Figur, welche das Glas durch das vorhergegangene Schleifen erhalten hat, und welches bei dem Poliren aus freier Hand so gewöhn-

lich ist, zu befürchten; im Gegentheil verbessert der Radius selbst noch jeden etwa vorhandenen Fehler, so daß durch diese Polirung der gegebene Krümmungshalbmesser auf das genaueste erhalten werden kann.

§. 256. Dieses ist die allgemeine Uebersicht des Gebrauches und des Zweckes dieser Vorrichtung. Was nun die Abmessung des Krümmungshalbmessers selbst betrifft, nach welchem die Linse geformt, folglich die Länge des Radius bestimmt seyn soll; so muß dieselbe mit der möglichsten Genauigkeit geschehen, auch die Unveränderlichkeit dieses Halbmessers während der Arbeit versichert werden. Da hiervon die ganze Genauigkeit der Wirkung des von mir beschriebenen Apparates abhängt; so werde ich die ganze Operation nach allen einzelnen Punkten durchgehen, um die Art, auf die vollkommenste Weise mit dieser Vorrichtung zu manipuliren, dem Künstler völlig deutlich zu machen.

§. 257. Die Folgenreihe der Operationen ist nun folgende.

1) Es wird zuerst die Radiusstange hergestellt, daß ihre Länge mit Einschluß der am unteren Ende zu befestigenden Reibschale oder des konvexen Glases, beiläufig der Länge des Krümmungshalbmessers gleich ist, nach welchem die Glasfläche hergestellt werden soll.

2) Die beiden Schleifschalen werden auf die bereits angegebene Weise auf der Drehbank hergestellt, und dann mit feinem Schmirgel aus freier Hand etwas aufeinander abgeschliffen, damit die gröbern Ungleichheiten entfernt werden.

3) Nun wird die Konkavschale in die untere Platte i der Maschine fest eingeschraubt, so daß sie so viel möglich eine horizontale Lage erhält, was sich bei der horizontalen Lage der Platte i und bei der genauen Abdrehung des Schraubenkopfes

y, mit welchem die Schale auf der Platte aufliegt, von selbst ergibt.

3) Man hat nun eine gerade hölzerne Stange, (Maß-stange) an deren einem Ende ein Kügelchen von derselben Größe, wie an der Radiusstange, befestiget ist, welches hier von Messing seyn kann; das andere Ende aber ist mit einer unten etwas abgerundeten stählernen Spitze versehen. Die Länge dieser Stange, von dieser unteren Spitze bis in die Mitte der kleinen Kugel an dem andern Ende, mit einem Stangenzirkel gemessen, beträgt genau die Länge des Halbmessers, nach welchem die Fläche geschliffen werden soll, z. B. 60 Zoll.

Diese Stange wird nun mit der kleinen Kugel des oberen Endes in den hohlen Kegel c des beweglichen Cilinders b geschoben, und mit der untern stählernen Spitze in die Mitte der aufgeschraubten Schleifschale k gestellt.

4) Durch die Stellung, welche auf diese Art der bewegliche Cilinder b erhalten hat, ist der Fühlhebel auf einen bestimmten Punkt des eingetheilten Kreises, z. B. auf den Punkt o gerückt worden. Dieser Punkt wird genau notirt. Er bestimmt die Entfernung des Mittelpunkts der kleinen Kugel von dem Mittelpunkte der Schleifschale, folglich die Länge des Halbmessers der Krümmung, bei den oben angegebenen Dimensionen des Fühlhebels, bis auf $\frac{1}{100}$ Linie.

5) Nun wird die Maßstange aus der Maschine genommen, die Radiusstange eingesetzt, und mit den Balancier-gewichten s versehen. An dem untern Teller der Radiusstange g ist schon vorher die zweite oder Konvexschale eingeschraubt, und beiläufig gerichtet worden, so zwar, daß die Länge von dem Mittelpunkte der kleinen Kugel bis zu dem Mittelpunkte dieser Konvexschale ziemlich nahe dem gegebenen Halbmesser, z. B.

60 Zoll, gleich ist. Diese obere oder Konvexschale wird nun vermittelst der Stellschrauben so gerichtet, daß ihr Mittelpunkt so viel möglich, über dem Mittelpunkte der unteren Schale steht, und beide einander berühren. In dieser Lage wird nun die Radiusstange an der Schraube T umgedreht, bis der Fühlhebel auf die bemerkte Stelle o zu stehen kommt. In dieser Stellung hat nun die Radiusstange die Länge des gegebenen Halbmessers.

6) Nunmehr werden die beiden Schalen langsam übereinander bewegt, um zu sehen, ob ihre Flächen parallel sind, oder ihre Mittelpunkte wirklich übereinander senkrecht liegen. Wäre dieses nicht der Fall, so wird sich der Cilinder während einer Kreisbewegung heben und senken, was der Fühlhebel anzeigt. Man korrigirt also noch mittelst der Stellschrauben diese Lage der oberen Schale, bis der Fühlhebel nur kleinere Schwankungen macht, (welche von der etwaigen Ungleichheit herrühren) und wieder auf den Punkt sich stellt, wenn die Mittelpunkte der beiden Schalen einander berühren.

Nunmehr werden die Schalen mit feinem Schmirgel vollends aneinander abgeschliffen.

Aus diesen korrigirten Schleifschalen wird nun die Linsenfläche aus freier Hand nach der oben angegebenen Weise geschliffen.

§. 258. Um das Glas sogleich auf der Maschine selbst zu schleifen, ist diese Korrektion der Schleifschalen nicht nöthig. Man setzt in diesem Falle die konkave Schleifschale k in die untere Platte ein, nachdem sie vorher aus freier Hand mit ihrer zugehörigen Schale ausgeschliffen worden ist; befestiget die Glaslinse, die durch gröberes Abschleifen vorher die beiläufige Form erhalten hat, auf die oben angezeigte Weise durch Pechtropfen auf dem Griffe g, welcher in die Platte f

eingesetzt wird; bestimmt wie vorher den Punkt o des Fühlhebels, welcher dem gegebenen Halbmesser entspricht, und schleift nun die Glaslinse durch kreisförmige Bewegung der Radiusstange, indem man Anfangs einen stärkeren Druck auf die Schleifschale wirken läßt. In dem Maße als sich die Linse abschleift, verkürzt sich die Länge des Radius, und der Fühlhebel weicht durch das Sinken des Cilinders von o auf i zurück. Die Radiusstange muß nun durch geringes Drehen um ihre Axe oder um die Schraube T so viel verlängert werden, bis der Fühlhebel wieder auf den Punkt o zurück kommt; wornach das Schleifen fortgesetzt wird. Dieses Korrigiren muß immer geschehen, so bald eine kleine Verrückung des Fühlhebels merkbar wird.

§. 259. Nähert sich die Form der Glasfläche schon ihrer Vollendung, so muß man noch vor der Anwendung des feinsten Schmirgels sich nun versichern, ob die Schleifschale selbst keine merkliche Ausschleifung erlitten habe, weil in diesem Falle der Radius länger seyn würde, als er seyn sollte. Zu diesem Ende setzt man die Radiusstange bei Seite, und setzt nun wieder die Maßstange auf die oben angezeigte Weise ein, indem man den Stand des Fühlhebels bemerkt. Ist dieser unverändert; so ist keine Korrektion erforderlich. Gesetzt aber der Fühlhebel zeige nun auf den Punkt i des Kreisbogens, so zeigt der Raum oi die verhältnißmäßige Ausschleifung der Schleifschale an; und es bezeichnet also nunmehr dieser Punkt i die wahre Länge des Radius. Es wird also nunmehr die Radiusstange wieder eingesetzt, so daß die Glaslinse und Schleifschale, die man unterdessen von dem Schmirgel befreit hat, gut aufeinander liegen, und die Radiusstange wird um die Schraube T so lang gedreht, bis der Fühlhebel auf den Punkt i zu stehen kommt.

Nunmehr wird das Schleifen mit dem feinsten Schmirgel, und zuletzt mit dem fein gepulverten Bimsstein beendiget, in wel-

chem Falle die Vollkommenheit der Form, welche die Linse erhalten hat, durch die Unbeweglichkeit des Fühlhebels angezeigt wird.

Die zweite Fläche der Glaslinse, bei deren Vorbereitung und Auffittung übrigens vollkommen das bereits oben bei dem Schleifen aus freier Hand beschriebene Verfahren beobachtet wird, wird nun mit dem ihr zugehörigen Radius auf dieselbe Weise hergestellt. Uebrigens ist es vortheilhaft, aus einem und demselben Radius sogleich mehrere Linsen zu schleifen, weil dabei Zeit an derselben Zurichtung der Maschine und der Arbeit erspart wird.

§. 260. Wird nun die Glasfläche der Linse auf dem zugehörigen Radius polirt; so wird dabei auf die bereits oben angezeigte Weise verfahren. In die untere Schleifschale k wird auf die angezeigte Weise die Pechlage eingetragen, derselben durch Eindrücken der schon geschliffenen Linsenfläche die gehörige Form gegeben; die Kreuzschnitte in der Pechlage angebracht, diese Pechschale nun in die Maschine eingesetzt; mittelst der Maßstange, deren untere Spitze auf die Mitte der Pechschale gestellt wird, der Punkt des Fühlhebels o bestimmt, bei welchem der Radius die erforderliche Länge hat; hierauf die Radiusstange eingesetzt, und die mit dem Griffe eingeschraubte Glaslinse genau in die Krümmung der Pechschale gerichtet; hierauf die Stange um die Schraube T so lange gedreht, bis der Fühlhebel auf den vorhin bestimmten Punkt o zeigt; und nun wie gewöhnlich mit Kolkothar und Wasser polirt, nachdem man den Druck der Stange durch die Balanciergewichte in so weit regulirt oder aufgehoben hat, daß nicht viel mehr als das Gewicht des Glases mit dem Griffe drückt.

§. 261. Wenn während der Arbeit der Fühlhebel von o nach i zurückweicht; so wird dadurch ein Ausschleifen der Pech-

schale angedeutet, da die Glasfläche selbst nur sehr wenig angegriffen wird. Man muß in diesem Falle nach Aushebung des Radius durch Einsetzung der Maßstange die Lage des Fühlhebels oder die absolute Länge des Radius untersuchen. Gesetzt, es würde bei dieser Untersuchung der Fühlhebel nicht nach o zurückgehen, sondern zwischen i und o sich stellen, z. B. in dem Punkte x; so würde dieses anzeigen, daß nicht nur die Pechschale, sondern auch das Glas eine Abschleifung erlitten habe, so daß die Ausschleifung der Pechschale durch den Raum xo, die Abschleifung der Glasfläche aber durch den Raum xi gemessen würde; daher sich die Größen dieser Abschleifungen in $\frac{1}{100}$ Linien angeben lassen. Man setzt nun die Radiusstange wieder ein, nachdem man den Punkt x, der nun die wahre Länge des Radius anzeigt, bemerkt hat, und die Radiusstange wird so viel um die Schraube T gedreht, während die Glasfläche in der Pechschale liegt, bis der Fühlhebel auf den Punkt x zu stehen kommt. Auf diese Art sind beide, wenn gleich sehr geringe, Abweichungen durch das Abschleifen der Schale und des Glases korrigirt; und das Poliren wird nun bis zu Ende fortgesetzt.

Auf diese Weise wird durch diese Maschine sowohl im Schleifen als Poliren, die Form der Fläche mit einer Genauigkeit hergestellt, durch welche bei Beobachtung der angegebenen Vorsichten die Länge des zugehörigen Halbmessers bis auf weniger als $\frac{1}{1000}$ Zoll richtig werden kann.

§. 262. Bei der großen Genauigkeit, welche diese Maschine zu liefern im Stande ist, ist es daher zweckmäßig, dieselbe auch nur zu der letzteren und feineren Ausschleifung, so wie zu der Polirung der Gläser, und dann zur Adjustirung der Schleifschalen zu verwenden, das erste Schleifen der Gläser aber bis dahin, wo die Linse ihre Form so weit erhalten hat,

daß nur noch die feinere Arbeit mit feinerem Schmirgel nöthig ist, aus freier Hand zu verrichten. Die Einsetzung und Adjustirung der so vorbereiteten Linse mit der zugehörigen Schleifschale geht nun in der Maschine leicht und bequem von Statten; durch die weitere Ausarbeitung auf derselben verbessern sich alle Fehler, die das frühere Schleifen auf dem Glase und in der Schale hervorgebracht hatte, und diese vollkommene Vollendung des Schleifens beschleunigt und verkürzt auch die nachfolgende Herstellung einer vollkommenen Politur. Ist die Glasfläche nach dieser Art in der Maschine ausgeschliffen; so kann sie auch sogleich, ohne sie von dem Griffe abzunehmen, polirt werden, nachdem man die Schleifschale mit der Pechlage versehen hat.

§. 263. Diese hier angegebene Vorrichtung hat den wesentlichen Vortheil, daß sie beständig Rechenschaft und Anzeige über die Genauigkeit der Arbeit selbst gibt, und so sich selbst kontrollirt. Die Korrektion der eintretenden Unrichtigkeiten ist leicht und wenig zeitraubend. Sie fördert die Arbeit, da man bei ihr jeden beliebigen Druck auf die Reibschale zur Disposition hat, und dieser Druck, einmal regulirt, unveränderlich bleibt. Die Genauigkeit, welche mit derselben erreicht werden kann, kann schwerlich auf irgend eine Weise übertroffen werden. Sie probiert endlich selbst die Vollendung der Form der fertig polirten Glaslinse. Denn ist diese Form vollkommen, so wird bei der letzten Vollendung der Fühlhebel keine Schwankungen machen. Von der Richtigkeit des Halbmessers hat man sich schon vorher überzeugt.

Ueberhaupt kann diese Vorrichtung selbst dazu dienen, von gegebenen Linsenflächen die Krümmungshalbmesser zu bestimmen. Es ist hierzu nur nöthig, die Glaslinse an dem in dem unteren Beschlage der Radiusstange einzuschraubenden

Griffe mit einigen Pechtropfen zu befestigen, die Mitte der Linse auf einer ebenen festliegenden Platte aufruhen zu lassen, und nun die Stellung des Fühlhebels zu bemerken. Bringt man nun eine verschiebbare Maßstange, die auf die vorige Weise an beiden Enden eingerichtet ist, bei welcher jedoch der Beschlag mit dem kleinen Kügelchen durch eine Mikrometerschraube eine feine Bewegung erhalten kann, mit dem unteren Ende auf den Punkt der Platte, wo die Mitte des Glases auflag, und mit der kleineren Kugel am anderen Ende in den hohlen Kegel des Cilinders, und richtet mit der Schraube die kleine Kugel so lange, bis der Fühlhebel auf denselben Punkt, wie vorher zeigt; so gibt nun die Maßstange die genaue Länge des Krümmungshalbmessers.

§. 264. Wird ein Konkavglas geschliffen, so muß die Konverschale an der unteren Fassung der Radiusstange, die auf dem Griffe befestigte Konkavlinse aber auf der unteren Platte eingeschraubt werden. Die Länge des Radius wird nun von dem Mittelpunkte der Konverschale aus gemessen.

§. 265. Da das Ansatzstück B des Apparates mittelst der Schraube a niederwärts bewegt werden kann, so ist derselbe Apparat zwar für verschiedene Krümmungshalbmesser anwendbar, für jeden Radius muß aber eine eigene Radiusstange bestehen, und die dazu gehörige Maßstange; dieselbe kleine Kugel kann übrigens auf jede Radiusstange aufgeschraubt werden. Um daher die Anzahl dieser Vorrichtungen nicht ohne Noth zu vervielfältigen, so ist es auch aus diesem Grunde vortheilhaft, die verschiedenen Fernröhre, welche man verfertiget, auf bestimmte Fokallängen der Objektive einzutheilen, wie dieses bereits früher (§. 203) rücksichtlich der Okulare räthlich geworden ist.

An einer Maschine, die nur für kleinere Halbmesser, etwa

bis zu 40 Zoll dienen soll, kann man übrigens die Einrichtung der Radiusstange auch so machen, das sie aus zwei in einander geschobenen Zugröhren besteht, die sich jedoch streng über einander bewegen, damit keine Verschiebung durch leichten Druck entstehen kann. Wenn die äußere Röhre, welche den unteren Theil bildet, eben so lang ist, als die innere, und beide Röhren bei der größten Ausziehung noch 3 Zoll lang übereinander bleiben, so wird die kleinste Länge des ausgezogenen Rohres beiläufig 24 Zoll, wenn die größte Länge 40 ist: es können also mit dieser nämlichen Radiusstange alle zwischen diesen beiden Längen liegenden Halbmesser hergestellt werden.

§. 266. Die Anwendung anderer Maschinerien, um dadurch das Schleifen der Krümmungsflächen der Gläser abzukürzen, oder Handarbeit zu ersparen, ist nicht zu empfehlen. Ohne besondere Achtsamkeit und Sorgfalt läßt sich keine vollkommene Linse herstellen. Die Verfertigung vollkommener achromatischer Fernröhre kann nicht fabrikmäßig betrieben werden, obwohl es ein großer Vortheil für den Optiker ist, wenn er im Stande ist, zu den achromatischen Objektiven Linsen von einer und derselben Dimension aus demselben Glase in größerer Zahl im Vorrath herzustellen, um aus denselben bei der Zusammensetzung des Objektivs diejenigen wählen zu können, welche die beste Wirkung gewähren.

Die Anwendung einer Maschinerie ist dagegen anwendbar und nützlich beim Schleifen der Planflächen der Okularlinsen. Solcher Linsen, die schon mit den krummen Flächen versehen sind, können viele neben einander auf einer festen Unterlage in Pech, welchem Gyps zugesetzt worden ist, eingekittet, und dann mittelst eines unten mit einer matten Spiegelplatte versehenen Troges, auf dieselbe Weise als bei dem Schleifen

der gewöhnlichen Spiegel, geschliffen, und polirt werden. Die Lage der Linsen wird dabei so gerichtet, daß durch das Abschleifen die krumme Fläche und die Planfläche einander schneiden.

§. 267. Bei dem Schleifen der Gläser ist noch ihre Dicke zu berücksichtigen; und diese darf nicht größer werden, als sie gerade nöthig ist, da dadurch die berechnete Brennweite merklich verkürzt werden könnte (§. 109). Die geringste mögliche Dicke hat die gleichseitige Linse, wenn ihre Oeffnung nicht kleiner ist, als sie durch das Durchschneiden der beiden krummen Flächen entsteht. Die ganze Dicke ist in diesem Falle $= \frac{y^2}{p}$, und für eine plankonvexe oder plankonkave Linse $= \frac{y^2}{2p}$, wo y die halbe Oeffnung, und p den Krümmungshalbmesser bezeichnet (§. 52). Diese Dicke (bei den Konkavlinsen mit Zurechnung der Dicke des Glases an der tiefsten Stelle), gibt man allen Okularlinsen, und auch den Linsen zu den kleineren Objektiven gehörig, bei welchen die Breite der Linse nur um so viel größer als die wirkliche Oeffnung wird, als zu der Fassung des Glases hinreicht. Bei Linsen von größerer Breite wird jedoch die Dicke verhältnißmäßig vermehrt, damit die Linse beim Schleifen weniger gebrechlich sey und sich nicht biege, für die sichere Fassung an der Peripherie ein flacher Rand entstehe, und für das Abschleifen bei der nachfolgenden Centrirung noch Raum vorhanden sey, ohne daß die angenommene Oeffnung verkleinert werde. Man darf jedoch diese Dicke nicht überflüssig vermehren.

Bei den ungleichseitigen Linsen besteht die Dicke aus den beiden halben Dicken der jedem der beiden Halbmesser zu-

gehörigen gleichseitigen Linsen. Diese Dicke ist also

$$= \frac{y^2}{2}\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{p'}\right)$$

§. 268. Bei einer Konvexlinse von 48‴ Oeffnung, von welcher der Halbmesser der einen Fläche = 42 Zoll, jener der anderen = 16 Zoll (zu einem Objektiv von 60 Zoll Brennweite gehörig), kann die Dicke 0″34 betragen. Würden diese Flächen einander schneiden, so wäre nach der vorigen Formel die Dicke = 0″17. Sie ist also hier noch einmal so groß genommen, und der flache Rand beträgt nun ebenfalls = 0″17. Dieses Verhältniß kann für alle übrigen Linsen dieser Art beibehalten werden; so daß man ihnen höchstens die doppelte Dicke derjenigen gibt, welche für die gegebene Oeffnung nach der vorigen Formel berechnet ist.

Dasselbe gilt auch für die Konkavlinsen, deren Dicke an dem äußeren flachen Rande gemessen wird. Für diese Linsen gilt die berechnete Dicke für den Fall, als sich die Mittelpunkte der beiden Krümmungen oder der einen Krümmung und der Planfläche berühren würden. Für die Konvexkonkavlinse wird die berechnete Dicke erhalten, wenn in der obigen Formel der Halbmesser der konkaven Fläche mit dem negativen Zeichen gesetzt wird. Diese Linse erhält verhältnißmäßig zur Plankonkav- oder Plankonvexlinse einen weniger breiten Rand, würde also bei denselben Dimensionen unter diesen Linsen die schwächste werden. Ihre berechnete Dicke muß daher in einem größeren Verhältnisse vermehrt werden. Für das erwähnte Objektiv von 48‴ Oeffnung, beträgt für die Konvexkonkavlinse der Halbmesser der Konvexfläche beiläufig 75 Zoll, jener der Konkavfläche 17 Zoll. Die berechnete Dicke ist also = 0″.091. Diese Dicke nimmt man höchstens dreifach; sie wird also = 0″.273. Die Dicke des Glases in dem Mittelpunkte der Linse wird also in diesem

Falle = o''182; eine Stärke, welche die Unbiegsamkeit mehr als hinreichend sichert.

II.

Von dem Centriren der Gläser.

§. 269. Jede Linse, welche für Fernröhre gebraucht wird, muß gehörig centrirt seyn, d. h. der Mittelpunkt ihrer Peripherie muß in der dicksten (wenn die Linse konvex ist), oder in der dünnsten Stelle derselben (wenn sie konkav ist), sich befinden, oder mit andern Worten: der Mittelpunkt der Peripherie muß in der Axe des Glases liegen. Wäre diese Centrirung nicht vorhanden, so würde der von einem in der Axe gelegenen Punkte des Gegenstandes kommende Hauptstrahl nicht durch den Mittelpunkt der Linse gehen, wodurch eine Undeutlichkeit des Bildes entstehen würde.

Ist die Linse mit einem flachen Rande versehen; so muß dieser Rand daher an allen Stellen vollkommen gleiche Breite haben, wenn die Linse centrirt ist. Sind daher die Linsen so geschliffen, daß diese Randbreite verschwindet, oder daß die beiden Flächen der Linse sich auf dem Rande schneiden, so ist die Linse auch centrisch. Bei diesen Linsen also, wozu wie schon früher bemerkt, alle konvexen Okularlinsen gehören, ist kein weiteres Centriren nothwendig.

Um annäherungsweise zu probiren, ob eine Linse centrirt sey, kann man auf folgende Weise verfahren.

Man bedeckt die eine Fläche der Linse mit Papier, auf welchem aus demselben Mittelpunkte zwei Kreise gezogen sind; der Durchmesser des einen ist gleich dem Durchmesser der Linse, und der des zweiten halb so groß. Den inneren Kreis theilt man in sechs Theile, und sticht mit einer Nadel sechs

Oeffnungen hinein. Wenn nun die auf dem auffangenden Papiere von der Sonne dargestellten Punkte bei der Entfernung der Linse in ganz gleichen Entfernungen zusammengehen, und sich dann genau vereinigen, so ist das Glas centrisch.

Nachstehende Methode ist leichter. Wenn man die Linse einem beleuchteten Gegenstande gegenüber hält; so sieht das Auge in derselben zwei Bilder, wovon das eine von der Vorderfläche, das andere von der Hinterfläche reflektirt ist. Man halte nun die Linse gegen ein Kerzenlicht, und entferne sich von diesem mit derselben so lange, bis die beiden reflektirten Bilder des Lichtes klein werden, und dem Auge mehr wie leuchtende Punkte erscheinen. Man wende nun das Glas, bis man die beiden Lichtbilder genau an einer und derselben Stelle erblickt, so daß sie einander decken, oder das kleine Bild genau in der Mitte des größeren steht. Dieser Punkt, den man mittelst einer Feder mit Tusch bezeichnet, ist der Mittelpunkt der Linse. Man kann nun untersuchen, ob dieser Mittelpunkt der Mittelpunkt der Peripherie der Linse ist, wie es seyn soll. Ist dieses nicht der Fall, so wird die Centrirung der Linse nun dadurch hergestellt, daß man den Rand so abschleift, daß jener gefundene Mittelpunkt der Mittelpunkt seiner Peripherie wird.

§. 270. Um die zu den achromatischen Objektiven gehörigen Linsen zu centriren, muß man genauere Methoden anwenden.

Mittelst der reflektirten Bilder wird die Centrirung genauer auf folgende Art bewerkstelligt. Man befestigt die Linse auf der Docke einer Drehbank mit Kitt, und richtet sie so, daß sie so viel möglich nach dem Augenmaße centrisch läuft. Stellt man nun in einiger Entfernung von der Linse ein Kerzenlicht, und läßt die Linse umlaufen, so werden die beiden reflektirten Bilder vollkommen ruhig stehen, wenn die

Mittelpunkte der beiden Flächen in dem Mittelpunkte der Umdrehung, oder in der Axe der Drehspindel, folglich in der Axe der Linse liegen. Schleift man nun den Rand der Linse in dieser unverrückten Lage derselben auf der Drehbank ab, oder bezeichnet die Peripherie derselben mit einem durch einen Diamant eingeschnittenen Kreis, um dann nach diesem Kreise das Abschleifen in einer Schleifschale von geringem Krümmungshalbmesser vorzunehmen (welches letztere jedoch nur für kleinere Linsen angeht); so ist die Linse centrirt.

Bewegten sich beim Umlaufen der Linse das eine oder beide Bilder im Kreise, so muß die Linse so lang verrückt werden, bis jenes Stillstehen der Bilder eintritt.

Bei der doppeltkonvexen Linse liegt ein kleines verkehrtes Bild vor der Linse, und ein aufrechtes hinter derselben: ersteres gehört der Hinterfläche, letzteres der Vorderfläche.

Die plankonvexe Linse hat, wenn die konvexe Seite dem Gegenstand zugekehrt ist, beide Bilder hinter der Linse aufrecht, von denen das größere der Planfläche gehört. Steht die Planseite gegen den Gegenstand; so liegt das Bild von der Hinterfläche klein und verkehrt vor der Linse, und das größere von der Planfläche hinter derselben aufrecht.

Die doppeltkonkave Linse hat ein verkehrtes Bild vor der Linse, und ein aufrechtes hinter derselben: ersteres gehört der Vorderfläche, letzteres der Hinterfläche.

Die plankonkave Linse hat, wenn die Konkavfläche dem Gegenstand zugekehrt ist, ein verkehrtes Bild vor der Linse, welches dieser Fläche zugehört, und ein größeres aufrechtes hinter derselben, welches der Planseite gehört. Steht die Planseite gegen den Gegenstand, so liegen beide Bilder hinter der Linse aufrecht, und das größere gehört der Planfläche.

Die Konvexkonkave Linse zeigt zwei Bilder hinter der Linse, wenn die Konvexfläche dem Gegenstande zugekehrt ist; das größere gehört der Vorderfläche. Ist die Konkavfläche dem Gegenstande zugekehrt; so liegen die beiden Bilder vor der Linse, und das größere gehört der Hinterfläche.

Wenn nun bei dem Umdrehen der Linse das eine Bild zum Stillstehen kommt, folglich der Mittelpunkt der ihm zugehörigen Fläche in der Axe liegt, so läßt sich hiernach beurtheilen, welche Fläche noch gerichtet werden müsse, um auch das zweite Bild zum Stillstehen zu bringen, oder den Mittelpunkt dieser Fläche in die Axe zu bringen. Diese Methode ist für Linsen von kleinerer Dimension hinreichend genau; aber nicht völlig genau, da der letzte Grad der Unbeweglichkeit des Bildes sich nicht völlig genau beurtheilen läßt.

§. 271. Hat man das Glas bei dem Schleifen so behandelt, wie es oben §. 139 und 140 angegeben worden ist; so ist die Linse auch schon nahe centrirt, wenn bei dieser *Adjustirung* mit Genauigkeit verfahren worden ist. Denn ist nach dem Einschrauben des Griffes in die Spindel der Drehbank der Rand des Glases rund geschliffen, und hiernach die eine Fläche fertig geschliffen und polirt, sodann das Aufkitten der geschliffenen Fläche so vorgenommen worden, daß die Peripherie dieser geschliffenen Fläche, oder die zu ihr gehörige Kante des Randes an allen Stellen genau die Spitze des eingelegten Griffels, oder den kürzern Arm des angelegten Fühlhebels berührt; so ist nach dem Schleifen und Poliren der zweiten Fläche die Linse centrisch, weil dann nothwendig die Mittelpunkte der beiden Flächen in die Axe der Linse fallen.

Um jedoch die kleinen Abweichungen, welche auch bei diesem Verfahren, so wie bei dem vorigen, Statt finden können, noch zu korrigiren, ist die genaue Untersuchung der vollkomme-

nen Centrirung mittelst des doppelten Fühlhebels, dessen sich Herr Fraunhofer zuerst für diesen Zweck bedient zu haben scheint, auf die nachfolgende Art erforderlich. Auf eben diese Art wird dann auch überhaupt die Linse centrirt, wenn sie auch nicht schon vorher mit dem rundgeschliffenen Rande versehen worden wäre.

§. 272. Die Figur XLVI stellt die Einrichtung eines solchen Fühlhebels vor, der für diesen Gebrauch doppelt seyn muß.

AB ist eine Platte, mittelst welcher die ganze Vorrichtung durch die mit einem Griffe versehene Schraube S auf einen in die Auflage der Drehbank eingesetzten Träger aufgeschraubt wird. Auf dieser Platte sind die beiden messingenen Schenkel CC und DD durch vier Schrauben befestiget, von welchen die beiden c und d sich in einem in der Platte angebrachten Schlitze hin- und herbewegen können, um die beiden Schenkel mittelst der Stellschraube E in beliebige Entfernung auseinander stellen zu können (je nach der Dicke der Linse, die man centriren will), wobei die Feder F dieser Stellschraube entgegen wirkt. ab und a′b′ sind die beiden Fühlhebel, deren Umdrehungspunkt in o, o′ ist. Das in m einzusetzende Stück M hält die obere Spitze der Spindel, um welche der Fühlhebel sich dreht, auf dieselbe Art, als dieses bei den Zapfenlagern in der Kleinuhrmacherey gewöhnlich ist. Die Federn f, f′ drücken auf den langen Arm der beiden Fühlhebel, damit das Ende des kürzeren, welcher aus einem vorn abgerundeten Stahlstücke besteht, gegen die beiden Flächen der mit der Spindel der Drehbank umlaufenden Glaslinse L andrückt. Die Länge der Arme C, D hängt von dem Grade der Empfindlichkeit ab, welchen das Instrument haben soll. Das Verhältniß 1 : 50 des kurzen Hebelarms zu dem langen ist hinreichend.

§. 273. Soll nun die Linse centrirt oder die bereits auf irgend eine Art centrirte noch bis zur letzten Genauigkeit korrigirt werden: so wird der Griff, auf welchem dieselbe mit Kitt befestiget ist, in einem hierzu konstruirten Vorsetzkopf der Drehbank eingeschraubt, und dem Augenmaße nach so gerichtet, daß die Linse möglichst gleich und rund läuft. Dieser von Messing hergestellte und auf die Spindel aufgeschraubte Vorsetzkopf ist so hergerichtet, daß die Platte, in welcher der Griff mit der Linse eingeschraubt ist, nicht nur in der Richtung der auf die Spindel senkrechten Ebene vermittelst drei an dem Umfange befindlicher Stellschrauben hin- und herbewegt, sondern auch mittelst Stell- und Ziehschrauben auf die bekannte, und oben bei der Radiusvorrichtung angegebene Weise in eben diese Ebene gebracht und gerichtet werden kann.

Die Figur XLVII stellt einen solchen Vorsetzkopf vor. AB ist ein hinreichend starkes Messingstück, das auf der einen Seite mit dem Schraubengewinde S versehen, auf der anderen Seite cilindrisch ausgedreht ist, um die runde Platte EE aufzunehmen, deren Durchmesser geringer ist, als jener der cilindrischen Aushöhlung. Auf den Rand dieses kurzen Cilinders oder Futters ist der Ring CD aufgeschraubt, um die Scheibe CD in ihrer Lage festzuhalten. In das Schraubengewinde dieser Scheibe EE ist das kreisförmige Stück F eingeschraubt, und mit diesem ist die Scheibe GH durch drei Ziehschrauben a, und durch drei Stellschrauben b (welche um $\frac{1}{3}$ der Peripherie von einander entfernt stehen), in Verbindung. In diese Scheibe ist endlich der Griff LM mit der Glaslinse eingeschraubt. An der Peripherie der Scheibe EE drücken drei Stellschrauben, gleichfalls 120° von einander entfernt, vermittelst welcher diese Scheibe, folglich mit ihr die

Linse senkrecht auf die Axe der Spindel verschoben werden kann, um dadurch den Mittelpunkt der Linse in die Axe der Spindel zu bringen: durch die Richtung der Scheibe GH mittelst der Schrauben wird die Linse in die auf die Spindelaxe senkrechte Ebene gebracht. Mit dem Gewinde S wird der Vorsetzkopf auf die Drehspindel aufgeschraubt.

§. 274. Die beiden Fühlhebel werden nun auf die in der Figur angezeigte Weise an die Seiten der Glaslinse angelegt, und nun durch Richtung mittelst der Stellschrauben, der Linse nach und nach diejenige Lage gegeben, bei welcher die Zeiger bb' der beiden Fühlhebel unbeweglich stehen bleiben. Wenn dieses der Fall ist; so liegen die Mittelpunkte der beiden Flächen der Linse genau in der Axe der Drehspindel oder das Glas liegt centrisch.

Man nimmt nun den Fühlhebel hinweg, und schleift mittelst eines in den Support eingespannten Messingstückes, wie bereits oben §. 239 erwähnt worden, mittelst Schmirgel und Wasser den Rand vollkommen rund ab. Man muß dabei durch die Schraube des Supports das Messingstück der Peripherie der Linse nur sehr wenig und allmälig nähern, um die Linse nicht zu erschüttern und aus ihrer Lage zu bringen, und mit dem Schleifen fortfahren, bis das Messingstück an dem Rande der Linse überall gleichmäßig anliegt. Am genauesten spricht auch hier der Fühlhebel. Befestigt man denselben in dem Support, und läßt den kurzen Arm desselben auf dem abgeschliffenen Rande der Linse aufruhen, so wird sein Stillstand anzeigen, daß dieser Rand vollkommen rund geschliffen worden ist; so wie er die Stellen andeuten wird, wo noch nachzuhelfen ist. Die Linse ist nun centrirt, oder der flache Rand hat an allen Stellen der Peripherie die vollkommen gleiche Breite, oder beide Mittelpunkte liegen in der Axe der Linse.

Da es die später vorzunehmende Einsetzung der beiden Linsen in die Fassung des Objektivs sehr erschweren würde, wenn die beiden Linsen desselben nicht völlig gleichen Durchmesser hätten; so muß bei dem Abschleifen des Randes der Linse, wodurch deren Centrirung hergestellt wird, zugleich darauf gesehen werden, daß die Linse, welche zuletzt centrirt wird, z. B. die Konkavlinse, genau denselben Durchmesser erhalte, als die zu derselben gehörige Konverlinse. Zu diesem Ende mißt man, nachdem die Linse schon völlig rund ist, von Zeit zu Zeit mit einem Tast-Zirkel den Durchmesser derselben.

§. 275. Bei dieser Gelegenheit muß ich diejenigen, welche sich mit den vielerlei genauen Arbeiten befassen wollen, welche die Herstellung eines vollkommenen achromatischen Rohres erfordert, auf die Unentbehrlichkeit einer guten Drehbank aufmerksam machen, die mit einer nach englischer Art eingerichteten Auflage (Support) versehen ist, in welcher sich der eingelegte Drehstahl durch zwei Schraubenspindeln nach zwei aufeinander senkrechten Richtungen, die eine parallel mit der Axe der Drehspindel, die andere senkrecht auf dieselbe bewegen läßt. Die Spindel dieser Drehbank, aus Gußstahl, die an dem hinteren Ende in einem Futter von reinem Zinn, an dem vorderen in einem Lager von Messing läuft, muß vollkommen genau gearbeitet seyn, nämlich vollkommen rund laufen. Eine solche Drehbank erleichtert manche Arbeiten ungemein, und gibt eine Genauigkeit, die man durch andere Mittel nicht erreichen kann. Für das völlig richtige Schleifen und Centriren der Gläser, so wie für die richtige Herstellung der Auflagen und Fassungen beim Zusammensetzen der Okulare und des Rohres ist sie unentbehrlich, und eben so auch für manche andere Operationen sehr erleichternd.

III.

Von der Centrirung und Zusammensetzung des Objektivs.

§. 276. Wenn die Konvex- und die Konkavlinse, aus denen ein achromatisches Doppelobjektiv besteht, gehörig centrirt sind, so werden sie in die Fassung eingesetzt, und darin befestigt, die kleineren durch das Umnieten des äußeren Randes der Fassung, die größeren durch Einschiebung eines Ringes in den Fassungsring auf die nachher angezeigte Weise.

Bei dieser Zusammensetzung müssen die Axen der beiden Linsen in eine gerade Linie fallen. Denn wäre dieses nicht der Fall; so würde hier derselbe Fehler entstehen, wie durch die unvollkommene Centrirung der Linsen; der Strahl in der Axe nämlich, welcher durch den Mittelpunkt der einen Linse ginge, würde neben jenem der anderen Linse vorbeigehen, und dadurch eine für die Deutlichkeit nachtheilige Abweichung verursachen, welches dann eben so für alle übrigen Strahlen der Fall wäre.

§. 277. Wenn die Linsen auf die vorher angegebene Weise durch die genaue Abschleifung des Randes richtig centrirt sind; so hat das Einsetzen derselben in die Fassung, die aus einem gehörig rund ausgedrehten, und hinreichend starken Ringe besteht, keine weitere Schwierigkeit: denn da beide Linsen vollkommen rund und gleich groß sind, so können sie, wenn sie unmittelbar auf einander liegen, und der innere Umfang der Fassung nicht größer ist, als die Peripherie dieser Linsen, auch nicht anders als centrisch zu liegen kommen. Da jedoch, wie die früher mitgetheilten Tafeln zeigen, bei den gewöhnlichen Zerstreuungsverhältnissen die erste Fläche der Konkav-

linse einen etwas größeren Krümmungshalbmesser hat, als die zweite Fläche der Konvexlinse, folglich beide Flächen, aufeinander gelegt, sich in der Mitte berühren würden, wodurch ein farbiger Ring entsteht, welcher der Deutlichkeit schaden würde; so müssen zur Vermeidung dieses Umstandes, durch Einlegung dünner und gleichdicker Stanniol-Blättchen an dem Rande, jene beiden Flächen etwas auseinander gehalten werden, wofür die Verfahrungsart sogleich näher wird angegeben werden.

§. 278. Bevor man zu dieser letzten Einsetzung des Objektivs in die Fassung schreitet, muß man erst noch vorher die günstigste Lage der beiden Linsen übereinander probiren. Es ist nämlich der Fall möglich, daß die Linsen in einer gewissen Lage aneinander eine vollkommenere Wirkung haben, als in einer anderen, weil sowohl in der Figur als in dem Materiale der beiden Linsen kleine Unregelmäßigkeiten Statt finden können, welche, wenn sie zusammen oder gegen einander wirken, einen Fehler vergrößern oder auch vermindern können. Man setzt also die beiden Linsen, (welche durch die erwähnten gleich dicken Stanniol-Blättchen getrennt sind, die man mit schwachem Gummiwasser mit der unteren Seite in gleichen Entfernungen auf die erste Fläche der Konkavlinse geleimt hat,) vorläufig in ihre Fassung, und diese in das Rohr mit dem Okular, betrachtet dadurch einen entlegenen Gegenstand, und dreht nach jeder Beobachtung die Konvexlinse um ihre Axe etwas herum, indem man an dem Rande derselben jedesmal ein Zeichen macht, und hiernach diejenige Stellung bemerkt, in welcher der Gegenstand am deutlichsten und mit der schärfesten Begränzung erschienen ist. Diese Stellung der beiden Linsen gegeneinander behält man bei der letzten Einsetzung derselben in die Fassung bei.

§. 279. Bei eben dieser Gelegenheit kann man nun auch den Grad der Vollkommenheit des Objektivs erforschen; denn durch die Probe in dem Rohre selbst kann dieser am schärfsten erkannt werden. Um das Objektiv auf seine Achromaticität zu probiren, nimmt man die stärkste Vergrößerung, welche für dasselbe bestimmt ist, und betrachtet einen entlegenen Gegenstand, der frei steht, und hinter sich den dunkeln Himmelsgrund hat, z. B. das Kreuz eines Kirchthurms, die Kanten eines Rauchfanges, einen auf einer entfernten weißen Mauer angebrachten schwarzen Strich, oder wenn es die Zeit zuläßt, die Mondscheibe. Hat das Okular seine richtige Stellung, und ist das Objektiv achromatisch, so wird der Gegenstand scharf begränzt, und ohne Farben erscheinen: wenn man dann das Okular mehr hinein oder heraus bewegt; so erscheint an der Kante oder dem Rande des Gegenstandes die schwache Purpurfarbe oder das grünlichgelb des sekundairen Spektrums (§. 93). Es ist bereits oben erwähnt worden, daß diese Lage der Farben des sekundairen Spektrums diejenige ist, bei welcher die chromatische Abweichung auch für dieses zweite Spektrum so viel möglich aufgehoben ist, weil bei derselben der äußerste violette und der äußerste rothe Strahl zusammen auf eine Seite fallen und das gemischte Purpur geben, wegen ihrer entgegengesetzten Brechbarkeit daher ihre Abweichung von den mittleren die möglichst geringste ist. Ein Objektiv, welches achromatisch zeigt, aber die Farben des sekundairen Spektrums nicht in dieser Mischung und Lage darstellt, zeigt daher den Gegenstand auch weniger scharf und deutlich begränzt, als das vorige, obgleich an demselben oft gar keine Farben bemerkbar sind, wie das bei vielen, durch Probiren zu Stande gebrachten, Objektiven der Fall ist. Jene Farben des sekundairen Spektrums geben zugleich ein Maß

für die richtige Stellung des Okulars ab, indem diese Stellung für die vollkommene Deutlichkeit zwischen das Erscheinen jener beiden sekundairen Farben fällt.

Um zu beurtheilen, bei welchen aus mehreren Objektiven von denselben Glasarten, bei gleicher Brennweite und Oeffnung, die Farbenzerstreuung am besten gehoben sey, bedeckt man, nach Fraunhofer, jedes Objektiv halb, die Mitte durchschneidend. Bei denjenigen, wo die Linien eines entfernten Gegenstandes, die mit der Durchschnittslinie des Objektivs parallel laufen, am deutlichsten gesehen werden, ist die Farbenzerstreuung am vollkommensten gehoben.

§. 280. Um den Grad der Aufhebung der sphärischen Abweichung zu probiren, bedeckt man das Objektiv mit einem Kreise aus Papier, in welchem in der Mitte eine Oeffnung von etwa dem sechsten Theile des Durchmessers des Objektivs ausgeschnitten ist, betrachtet damit einen entfernten Gegenstand, und bemerkt die Stellung des Okulars, wenn der Gegenstand am deutlichsten gesehen wird. Hierauf nimmt man diese Bedeckung weg, und legt eine andere auf, welche den mittleren Theil des Objektivs zu etwa $\frac{5}{8}$ seines Durchmessers bedeckt, dagegen den Rand frei läßt. Ist die sphärische Abweichung aufgehoben, so muß der Gegenstand eben so deutlich begränzt erscheinen, als vorher, ohne daß das Okular verrückt wird. Ist jedoch noch von dieser Abweichung vorhanden; so muß das Okular bis zu jenem Punkte der Deutlichkeit etwas in das Rohr geschoben werden, weil bei der sphärischen Abweichung die Brennweite der Randstrahlen kürzer ist. Es ist daher immer ein Zeichen der möglichst aufgehobenen Abweichung, wenn das Okular, welches bei der vollen Deutlichkeit des Bildes eine gewisse Stellung hat, nicht viel aus

dieser Stellung verrückt werden darf, ohne daß sogleich Undeutlichkeit des Bildes eintrete.

§. 281. Sollte der Fall vorhanden seyn, daß bei dieser Probirung des Objektivs dasselbe der Erwartung nicht entsprechen sollte; so deutet das auf Fehler in den Krümmungshalbmessern oder in dem Glase; und man muß sodann die eine oder andere Linse mit einer anderen gleichnahmigen vertauschen, bis man den Fehler so viel möglich aufgehoben hat. Wäre das Objektiv nicht achromatisch; so muß man durch die Korrektion der zweiten Fläche der Flintglaslinse diesen Fehler zu verbessern suchen, ein Fall, der, wenn man die bisher gegebenen Nachweisungen befolgt hat, jedoch selten vorkommen wird.

§. 282. Ueber die Einlegungsart der Plättchen zwischen die Linsen des Objektivs und die Befestigung dieser in der Fassung hat Herr Fraunhofer selbst eine Anleitung gegeben, da es zuweilen nothwendig ist, wegen des zwischen die inneren Flächen eindringenden Staubes das Objektiv auseinander zu nehmen und zu putzen.

Man legt die beiden Linsen des Objektivs in der früher nach §. 278 bestimmten Lage aufeinander, bezeichnet dann am Rande desselben drei Punkte, welche ziemlich genau 120° oder den dritten Theil der Peripherie von einander entfernt sind, und bringt an diesen Punkten drei gleich dicke Stanniol-Blättchen zwischen die beiden Linsen. Diese Blättchen haben, je nach der Größe des Objektivs, eine Breite von 1 bis 3 Linien, eine Länge von etwa 6 Linien, und sind rechtwinklicht geschnitten: es wird jedoch nur der vordere Theil derselben, etwa so weit, als die Breite der Auflage der Objektivfassung beträgt, zwischen die Linsen gleich tief geschoben; und zwar nachdem man diesen Theil auf beiden Seiten etwas

weniges mit in Wasser aufgelöstem arabischen Gummi benetzt hat. Man drückt dann an der Stelle, wo das Blättchen eingelegt ist, ziemlich stark auf das Objektiv, so daß das Blättchen sich an beide Flächen genau anlegt, und schneidet zuletzt, nachdem alle drei Blättchen so eingelegt sind, den an dem Rande hervorstehenden Theil mit einem scharfen Messer genau weg. Noch während der Gummi feucht ist, muß das Objektiv in seine Fassung festgeschraubt werden.

Das Objektiv berührt die Auflage seiner Fassung nur an drei Stellen, deren Mitten 120° von einander entfernt sind; der übrige Theil der Auflage ist an der, dem Objektiv (der Konvexlinse) zugekehrten Seite etwas weniges ausgefeilt, so daß er die Glasfläche nicht berühren kann, und das Objektiv nur an den drei genannten Stellen aufliegt. Das Objektiv muß nun so in die Fassung gebracht werden, daß die Stanniol-Blättchen genau dahin zu stehen kommen, wo die drei Auflagen sind.

In den starken cilindrischen Ring, welcher die Fassung ausmacht, paßt ein zweiter messingener Ring (der Federring), welcher unmittelbar über das in die Fassung eingelegte Objektiv (die Flintglaslinse), zu liegen kommt, und in dieser Lage bis an den Rand des Fassungsringes reicht. In diesem Federring haben drei Schräubchen, welche ebenfalls um 120° von einander entfernt sind, und durch den äußeren Fassungsring durchgehen, ihr Gewinde, und er ist so ausgefeilt, daß er das Objektiv ebenfalls nur an drei Stellen berührt, und zwar eben da, wo die Blättchen liegen. Diese Stellen des Ringes, welche das Glas berühren, sind unten abgerundet. Die Löcher, welche für die Schräubchen durch den Fassungsring gehen, sind etwas länglich (nach der Richtung der Axe des Objektivs), und haben ihren Ort immer in der Mitte

zwischen zwei Plättchen. Man drückt nun an der Stelle, wo ein Schräubchen ist, auf den Federring, und schraubt während des Drückens, das Schräubchen fest; dasselbe geschieht auch bei den anderen Schräubchen, so daß das Objektiv mittelst des Ringes und des Schräubchens mit demselben Drucke in der Fassung festgehalten wird, mit welchem man auf die genannten Stellen gedrückt hat. Damit ein ungleicher Druck an den drei verschiedenen Orten ausgeglichen werde, so wiederhohlt man diese Arbeit, nachdem schon alle drei Schräubchen fest sind, noch einmal, aber immer mit ungefähr gleichem Drucke. Da sonach die vordere Fläche der Konvexlinse an denselben drei Stellen aufliegt, wo mittelst der Stanniol-Blättchen die beiden Linsen sich berühren, und an eben diesen Stellen der Federring auf die äußere Fläche der Flintglaslinse drückt; so kann das Objektiv, bei der nöthigen Vorsicht, nicht schädlich gebogen werden, wie fest es auch in seiner Fassung geschraubt werde.

§. 283. Bei dieser Operation müssen die Stanniol-Blättchen zwischen den Linsen eine völlig gleiche Dicke haben: denn sonst würde das Objektiv seine Centrirung verlieren, da die Axen der beiden Linsen nicht in dieselbe gerade Linie fallen würden. Die völlig gleiche Dicke dieser Blättchen wird nun durch das Objektiv selbst gemessen. Ein solches Objektiv gibt nämlich, wie schon früher bemerkt, wenn die sich berührenden Flächen ganz rein sind, in der Mitte einen aus farbigen Ringen bestehenden Flecken. Am Rande stehen dann diese zwei Flächen so weit von einander ab, als die Differenz des Quersinus ihrer Krümmungen beträgt. Legt man nun am Rande zwischen die beiden Linsen ein Blättchen, dessen Dicke größer ist, als die genannte Differenz; so wird der farbige Flecken aus der Mitte verrückt, und überhaupt um so weiter vom Blättchen entfernt seyn, je dicker es ist. Man darf daher nur

diese Entfernung bei jedem zwischen die Linsen gelegten Blättchen mit einem Zirkel genau messen; so findet man leicht und sehr genau, welche Blättchen von gleicher Dicke sind. Man muß dabei auf die obere Linse, zwischen dem Blättchen und dem farbigen Flecken, etwas niederdrücken, damit das Blättchen beide Flächen genau berührt. Uebrigens wird nur der vordere Theil des Blättchens zwischen die Linsen gelegt, weil man nur die Dicke dieses Theiles zu kennen braucht. Damit dieser gemessene Theil, welcher zum Einschieben zwischen die Linsen des Objektivs bestimmt ist, von dem nicht gemessenen unterschieden werde, schneidet man ein Eck von demselben ab. Der zu messende Theil des Blättchens wird vor der Messung zwischen zwei ebenen, aber etwas rauhen harten Flächen, z. B. zwischen bei matten Glasflächen, etwas gerieben, damit die größeren Unebenheiten des Stanniols und seine Krümmung sich verlieren. Solche Blättchen von gleicher Dicke können auch im Vorrathe verfertiget werden, je für die verschiedenen Objektive, die man bearbeitet, von verschiedener absoluter Dicke; doch ist es wegen der möglichen Oxydirung räthlich, sie nicht zu lange aufzubewahren.

Um beschmutzte Gläser vor dem Einsetzen gehörig zu reinigen, werden sie zuerst mit Weingeist und einer feinen abgetragenen Leinwand, nachher mit Kreidewasser und einem in Kreidewasser gewaschenen und getrockneten Leinentuch, welches demnach der Kreide wegen etwas staubt, abgeputzt, wodurch der Schmutz weggenommen wird, hiernach mit einem Haarpinsel abgestaubt. Die Kreide muß zu diesem Behufe vorher gehörig geschlemmt worden seyn.

IV.

Von der Centrirung des Rohres.

§. 284. Das Fernrohr erhält seine Vollendung, wenn an dem einen Ende des Rohres die Einsetzung der Fassung mit dem Objektive, und an dem anderen die Einsetzung des Okulars in der Art vollbracht ist, daß die Axe des Rohres durch den Mittelpunkt des Okulars und durch die Mittelpunkte der Objektivlinsen geht, oder wenn die Axe des Objektivs mit der Axe des Okulars zusammenfällt. Diese Lage des Objektivs gegen das Okular ist, zumal bei größeren Instrumenten und bedeutenden Vergrößerungen, wesentlich nothwendig, weil sonst die Deutlichkeit des Bildes sehr viel verliert, indem bei aller bisher aufgeführten Bedingnissen und Regeln für den richtigen Weg der Strahlen in dem Fernrohr immer der Parallelismus des Okulars und des Objektivs vorausgesetzt worden ist, und bei der Vernachlässigung desselben eine schädliche Abweichung der Strahlen und Verlust des Lichtes erfolgt. Es muß daher auf diese letzte Centrirung gleichfalls die nöthige Sorgfalt verwendet werden.

§. 285. Für kleinere Fernröhre und Zugfernröhre geschieht diese Centrirung auf der Drehbank. Denn wenn mit der Genauigkeit, welche eine gute Support-Drehbank zu gewähren im Stande ist, die Kanten der Röhren, der Ansätze und die Auflagen (wie dieses auch bei den Okulareinsätzen geschieht §. 222) senkrecht auf die Axen abgedreht werden; so werden auch der Okulareinsatz und die Objektivfassung die richtige Stellung erhalten; und diese Arbeit kann auf diese Art so genau gerichtet werden, als auf irgend eine mögliche Weise. Ganz kleine Abweichungen kommen bei den minder be-

deutenden Vergrößerungen, die hier Statt finden, auch weniger in Betracht; und da im Besonderen bei dem Zugfernrohre nach dem Ausziehen immer ein Biegen des Rohres vorhanden ist; so gibt man für gleiche Oeffnung diesen Röhren ohnehin auch eine geringere Vergrößerung, als den Fernröhren mit dem festen Rohre (§. 176).

§. 286. Bei größeren Röhren und Objektiven muß die Centrirung so vollkommen wie möglich hergestellt werden. Das Okular wird in die Mitte des einen Rohrendes eingesetzt, so daß der Mittelpunkt der Okularöffnung möglichst genau in der Axe des Rohres liegt; das Zugrohr, mit welchem das Okular hin und her geschoben werden kann, (wenn das Rohr nicht blos für himmlische Gegenstände bestimmt ist) muß sich gedrängt bewegen, damit kein Schlottern möglich werde. Eben so wird die Objektivfassung, so viel möglich, senkrecht auf die Axe eingeschraubt.

Die letzte Korrektion in der Centrirung des Rohres wird nun auf folgende Weise bewerkstelligt.

In der Figur XLVIII sey ABC das Rohr, AB das Objektiv, und C der Okulareinsatz, in dessen Deckel sich die Okularöffnung o befindet. b ist nun die Axe des Fernrohrs, und bei der gehörig richtigen Einsetzung des Objektivs zugleich die Axe des Objektivs und des Okulareinsatzes. Wenn man mit einem anderen Fernrohre f, welches vor dem Okular mit einem Fadenkreuze versehen ist (§. 124), durch das Objektiv AB sieht, so kann man die Okularöffnung o erblicken, wenn das kleine Fernrohr die in f angezeigte Lage hat; und man kann dieses Fernrohr so richten, daß der Durchschnitt des Fadenkreuzes genau in die Mitte der Okularöffnung o falle.

Bringt man nun das kleine Fernrohr in die Lage f', so daß der Winkel, welchen seine Axe mit der Linie bx macht, dem

Winkel gleich ist, welchen das Fernrohr in der ersten Lage f mit derselben Linie gemacht hat, so wird man durch das Fernrohr in dieser zweiten Lage, eben so wie in der ersten, den Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes in der Mitte der Okularöffnung erblicken; wenn nach der angenommenen Voraussetzung bx die gemeinschaftliche Axe des Objektivs und des Okulars ist. Gesetzt aber, die Axe der Vorderfläche AaB, folglich des Objektivs, sey nicht bx, sondern falle etwas seitwärts; so wird man durch das Fernrohr in der zweiten Lage f′ nicht mehr die Okularöffnung oder das Fadenkreuz in ihrer Mitte erblicken, weil dann der Winkel abm nicht mehr dem Winkel abn gleich ist.

§. 287. Zur Ausführung dieser Operation richtet man ein kleines, in Figur XLIX dargestelltes, etwa 6″ langes Fernrohr her, das ein einfaches oder doppeltes Okular (letzteres nach §. 198) haben kann, und das in y mit einem Kreuzfaden (aus Spinnenweben) versehen ist. Dieses Fernrohr ist um den Zapfen a in der Vertikalebene, um das Charnier b in einer auf diese senkrechten Vertikalebene, und um den Zapfen c in der Horizontalebene beweglich; so daß es in jeder beliebigen Richtung festgestellt werden kann. Vermittelst dreier Stützen d ist es auf dem hufeisenförmigen Fuße 1), in welchen drei stählerne Spitzen efg, welche unten abgerundet und polirt sind, eingeschraubt sind, durch Schraubenmuttern befestiget. Zwei dieser Stifte, e und f, stehen etwa 120° des Kreises, von welchem dieser Fuß ein Ausschnitt ist, von einander entfernt, der dritte g steht etwas näher bei f.

§. 288. Soll nun das Rohr centrirt werden, so hält man das eben beschriebene kleine Fernrohr mit den drei Spitzen auf die Vorderfläche des Objektivs, so daß die beiden Spitzen e und f, welche am weitesten von einander entfernt stehen,

an die Auflage des Objektivs (welche, wie schon früher bemerkt, auf der Drehbank mit dem Supporte vollkommen rund ausgedreht ist), und richtet nun das kleine Fernrohr so, daß man die Okularöffnung des zu centrirenden Fernrohrs erblickt, und das Fadenkreuz genau die Mitte derselben durchschneidet. Nachdem man sich hiervon versichert hat, setzt man die drei Spitzen auf die vorige Art an eine andere Stelle des Glases, ohne das kleine Fernrohr selbst aus seiner Lage zu bringen: und sieht nun wieder durch dasselbe. Steht das Fadenkreuz eben so genau wie vorher in der Mitte der Oeffnung; so hat das Objektiv seine richtige Lage. Ist dieses aber nicht der Fall; so bemerkt man an der Fassung den Punkt, an welchem das Objektiv etwas gehoben oder gesenkt werden muß, damit durch das kleine Fernrohr das Fadenkreuz die Mitte der Okularöffnung durchschneide. Nachdem man diese Adjustirung der Lage des Objektivs verrichtet hat; wiederhohlt man die Untersuchung mit dem kleinen Fernrohre, wie vorher, bis dasselbe, an zwei oder drei Stellen des Objektivs dieselbe genaue Lage des Durchschnitts des Fadenkreuzes in der Mitte der Okularöffnung anzeigt; wornach die Centrirung als vollkommen hergestellt angesehen werden kann.

§. 289. Das beschriebene kleine Fernrohr kann für Objektive von jeder Größe gebraucht werden; nur ist es für bedeutend größere oder kleinere Objektive nothwendig, einen größeren oder kleineren mit den drei Stiften versehenen Fuß an die Träger d anzuschrauben, damit der Stift g nicht zu nahe an dem Rande bleibe, sondern wenigstens um die Hälfte des Halbmessers gegen den Mittelpunkt des Objektivs hineintrete. Das kleine Fernrohr kann man übrigens auch so einrichten, daß es in dem Mittelpunkte zweier beweglicher Ringe, deren Bewegungs-Ebenen senkrecht aufeinander sind, befestiget ist, nach

der Aufhängungsart des Seekompasses, und unten mit einer Stellschraube, die einer an das Rohr drückenden Feder entgegenwirkt, festgehalten wird. Der Fuß mit den Stiften ist dann kreisförmig, und koncentrisch, für das Gesichtsfeld des kleinen Rohres, ausgeschnitten. Diese Einrichtung ist bei dem Gebrauche bequemer, weil sich das Rohr mittelst derselben leichter genau richten läßt; sie ist jedoch etwas komplicirter.

§. 290. Um nun das Objektiv nach den Angaben dieses Instrumentes mit Genauigkeit richten zu können, damit sonach seine Axe mit der Axe des Okulars zusammen falle; so ist der vordere Theil des Rohres, in welchen die Objektivfassung eingeschraubt ist, mit dem in der Figur L dargestellten Ansatze versehen.

A ist das Rohr, an dessen Ende der Ring ab, dessen äußere Peripherie mit einem ein wenig vorstehenden Rande versehen ist, mit Schrauben befestiget ist. Auf diesen Ring paßt der Ring cd, der in 2) im Grundrisse zu sehen ist. Der Rand dieses Ringes ist mit dem Schraubengewinde versehen, in welches die Objektivfassung eingeschraubt wird. Auf diesem Ringe sind in Entfernungen von 120° die drei Stellschrauben n n n und die drei Ziehschrauben m m m eingelassen: durch die letzteren wird der Ring an den Ansatz ab angeschraubt, und durch das Anziehen der ersteren kann er, nach angemessener Lüftung einer oder der anderen Ziehschraube, von demselben, auf die gewöhnliche Weise, an einer beliebigen Stelle entfernt werden; so daß dem Ringe cd mit der Objektivfassung dadurch jede Lage auf das genaueste gegeben werden kann.

Die Centrirung des Rohres kann auf diese beschriebene Weise mit jedem Tubus (mit festem Rohre) bis auf 24 Linien Oeffnung vorgenommen werden.

V.

Von der Verfertigung des Glases zu den Linsen.

§. 291. Zur Herstellung vollkommener achromatischer Objektive ist ein reines und fehlerfreies Glas ein wesentliches Erforderniß. Kleine Bläschen, kleine ungeschmolzene Quarzstückchen oder Risse im Inneren, die aus einer verlängerten feinen Luftblase entstehen, hindern nur die Durchlassung eines geringen Theiles des auf das Objektiv fallenden Lichtes, und sind daher bei weitem nicht so schädlich, als eine ungleichförmige Mischung der Glasmasse selbst. Denn ist die Masse der Linse nicht von durchaus gleicher Beschaffenheit, Dichtigkeit oder Mischung der Bestandtheile: so hat sie an verschiedenen Stellen ein verschiedenes Brechungs- und Zerstreuungsvermögen, und ihre Form, welche auf ein solches bestimmtes und gleichförmiges Verhältniß berechnet ist (§. 115), ist daher für die verschiedenen Stellen nicht richtig, auch deren richtige Herstellung nicht möglich.

Diese Ungleichförmigkeit in der Masse des Glases offenbart sich durch gewisse wellenförmige Streifen, welche das Innere desselben durchziehen, und welche Aehnlichkeit haben mit den Wellen und Streifen, die man erblickt, wenn man zwei durchscheinende verschieden dichte Flüssigkeiten ähnlicher Art mit einander mengt, ohne daß noch eine völlige Mischung vorhanden ist. Z. B. Wenn man eine dünne Auflösung von arabischem Gummi in eine dickere und zähere gießt und etwas umrührt; wenn man kaltes Olivenöhl mit erwärmtem Oehle derselben Art vermengt; wenn man Weingeist oder eine Zuckerauflösung in Wasser gießt, und dergleichen. Der Grund der Wellen im Glase ist offenbar derselbe mit jenem dieser Er-

scheinungen: er liegt in der verschiedenen Dichtigkeit der geschmolzenen Glasmasse an einzelnen Stellen.

§. 292. Wenn man ein Glas, das auf beiden Seiten geschliffen oder mit reinen Bruch-Ebenen versehen ist, gegen das Fenster hält, und dasselbe vor dem Auge über die Fensterkreuze auf und nieder bewegt, damit ein Theil desselben in den Schatten komme, wenn der andere erleuchtet ist; so erkennt man diese Streifen und Wellen. Eben so erkennt man die Fehler an einer Linse, wenn man dieselbe zwischen das Auge und ein Kerzenlicht hält in der Entfernung ihrer Brennweite von dem Auge (§. 63), so daß ihre Fläche ganz erleuchtet erscheint. Ferner kann man diese Fehler entdecken, wenn man das Glas gegen das Tageslicht hält, und dasselbe mit einem Vergrößerungsglas, wozu ein Okulareinsatz dienen kann, betrachtet. Auf diese Art entdeckt man auch bei einer Linse die Fehler des Schleifens und Polirens. Noch schärfer wird diese Probe, wenn man das Glas nahe vor ein Kerzenlicht hält, und es dann mit einem Vergrößerungsglase betrachtet. Ist das Glas ein rohes Stück, so schleift und polirt man es auf zwei einander gegenüberstehenden Stellen, und untersucht es auf die vorige Weise.

§. 293. Die Schwierigkeit, für den höheren optischen Gebrauch völlig taugliche Gläser zu finden, ist nicht etwa erst seit der Erfindung der achromatischen Fernröhre fühlbar geworden. Schon die ältesten Optiker, die zu ihren einfachen Objektiven nur gemeines Glas nöthig hatten, klagen über die Schwierigkeit, sich ein vollkommen brauchbares zu verschaffen. Das geblasene Glas ist am untauglichsten, da es am meisten Streifen und Wellen hat, indem, sagt P. Zahn, durch das Blasen die festeren Theile der Masse in die flüssigeren und dünneren hineingetrieben werden, und dadurch Wellen und

Streifen verursachen. Das in Tafeln ausgegossene Glas fand man daher brauchbarer. P. Dechales empfiehlt, mittelst einer mit langen Stielen versehenen Löffelzange, deren Löffel, als Abschnitte einer hohlen Kugel, gut zusammen passen, das Glas, nachdem es gar geschmolzen, aus dem Glashafen zu schöpfen, wodurch es zugleich die vorläufige Figur der Linse erhält, die man daraus schleifen will. Er behauptet, auf diese Art größere Linsen ganz wellenfrei erhalten zu haben.

§. 294. Durch die Anwendung des Blei- oder Flintglases zu den achromatischen Objektiven wurde das Bedürfniß von streifenlosen Gläsern noch gesteigert. Das Flintglas ist leichtflüssiger, als das gemeine Pottaschenglas; das spezifische Gewicht der einzelnen Bestandtheile ist mehr verschieden, und es ist deßhalb den Streifen und Wellen noch mehr ausgesetzt. Wird es in Spiegelplatten ausgegossen, so findet man wohl in denselben einzelne ziemlich streifenfreie Stellen von einigen Zollen Durchmesser; aber es ist nur zufällig. Schmelzt man Flintglas in einem Hafen eines gewöhnlichen Glasofens, und läßt die Masse langsam abkühlen; so findet man, daß die Dichtigkeit der Glasmasse von oben nach unten zunimmt (da das spezifische Gewicht des Bleiglases oder der geschmolzenen Bleiglätte nahe = 8.00 ist). Man hat geglaubt, durch horizontale Abschnitte von dieser Masse reine Platten zu erhalten: allein der Erfolg ist auch hier nur zufällig, da die Veränderung der Dichtigkeit nicht schichtenweise erfolgt.

Das spezifische Gewicht des optischen Flintglases ist höchstens = 3.750; jenes des Spiegelglases = 2.535.

§. 295. Das Spiegelglas, wie es zu den Konverlinsen der achromatischen Objektive, so wie zu den Okularlinsen verwendet wird, ist das gemeine Pottaschenglas, das zu diesem

Behufe aus 120 Pfund gepochtem Quarz, 50—70 Pfund gereinigter Pottasche, 5—6 Pfund Salpeter, 1—2 Pfund Arsenik, und 10 Loth Braunstein besteht. Dieses Glas hat ein Brechungsvermögen von etwa 1.517 bis 1.520.

Wird demselben gebrannter, an der Luft zerfallener Kalk zugesetzt, 10 bis 15 Pfund; nämlich Statt 2 Pfund Pottasche 1 Pfund Kalk; oder in dem folgenden Verhältnisse: 100 Pfund gepochten Quarz, 36 Pfund Pottasche, 16 Pfund Kalk, 4 Pfund Kochsalz, 2 Loth Arsenik: so wird sein Brechungsvermögen größer, und geht auf 1.530 und etwas darüber.

Das Flintglas besteht aus 100 Pfund gepochten Quarz, 100 Pfund Mennige, 20—30 Pfund Pottasche, 2 Pfund Salpeter, $\frac{6}{100}$ Pfund Braunstein. Dieses Glas hat ein Brechungsvermögen von beiläufig 1.613; sein Zerstreuungsverhältniß ist, mit dem vorigen reinen Pottaschenglas verglichen, etwa 0.650.

§. 296. Diese Verhältnisse sind für achromatische Gläser sehr brauchbar, und sie nähern sich jenen der englischen Gläser. Da es jedoch besser ist, Flintglas von noch größerem Zerstreuungsvermögen anzuwenden, weil dadurch für gleiche Fokallänge des Objektivs die Krümmungshalbmesser der Linsen größer werden (§. 91); so vermehrt man in dem vorigen Glassatze bei gleicher Quantität der übrigen Materialien, die Mennige bis auf 120 Pfund. Man darf übrigens hierin nicht zu weit gehen, indem ein Glas, welches zu viel Blei enthält, mit der Zeit anläuft, und die vollkommene Politur der Fläche verliert. Ein Flintglas von einem Brechungsverhältnisse von 1.616 bis höchstens 1.630 entspricht den verschiedenen Bedingungen am besten.

Man zieht übrigens die Mennige der reinen Bleiglätte vor, welche dieselben Dienste thut, weil erstere leichter rein im

Handel gefunden wird. Die Mennige darf weder Zinn noch Kupfer enthalten. Durch beigemengtes Zinnoxyd bekommt das Glas einen milchigten Schein; beigemengtes Kupferoxyd macht es düster und bräunlich.

Rücksichtlich der Wahl der Glasarten zu dem achromatischen Objektiv kann noch bemerkt werden, daß es für die Verminderung des sekundairen Spektrums vortheilhaft sey, wenn in der Farbenzerstreuung durch das Spiegelglas das Verhältniß der verschiedenen farbigen Räume des Spektrums sich diesem Verhältnisse bei dem Flintglase so sehr wie möglich nähert. Dieses ist nun der Fall, wenn das Zerstreuungsverhältniß des Spiegelglases größer wird. Verbindet man z. B. das Spiegelglas von dem Brechungsindex = 1.517 mit einem Flintglas von dem Brechungsindex = 1.617; so wird der Zerstreuungsexponent = 0.592: dasselbe Flintglas mit dem Spiegelglase von dem Brechungsindex = 1.530 verglichen, wird dagegen den Zerstreuungsexponenten = 0.603 haben. Obgleich daher wegen des bedeutenderen Zerstreuungsunterschiedes das erstere Verhältniß vorzuziehen wäre; so ist es doch aus dem eben angegebenen Grunde vortheilhafter, das zweite Verhältniß zu beobachten. Man muß daher zu den Achromaten so viel möglich ein Spiegelglas von dem Brechungsindex = 1.530 anwenden, welches man durch den oben angegebenen Glassatz erhält*).

---

*) Es seyen die Brechungsindices der verschiedenen farbigen Strahlen des Spektrums für eine bestimmte Art von Spiegelglas, von der rothen Farbe bis zur violetten

= a, b, c, d, e . . . . . .

für eine bestimmte Art von Flintglas seyen die Brechungsindices dieser verschiedenen Farben

= am, bm, cm, dm, em . . . . .

so daß also die letzteren Brechungsverhältnisse den ersteren proportional sind; so ist für diese beiden Glasarten das Zer-

§. 297. Soll das Glas, sey es Spiegelglas oder Flintglas, für den achromatischen Gebrauch vollkommen werden; so muß es eigens für diesen Zweck geschmolzen werden. Nach-

---

streuungsverhältniß der zwei ersten Farben

$$= \frac{b - a}{bm - am} = \frac{b - a}{(b - a)\,m} = \frac{1}{m'},$$

jenes der beiden folgenden

$$= \frac{c - b}{cm - bm} = \frac{1}{m'},$$

jenes der beiden nächstfolgenden

$$= \frac{d - c}{dm - cm} = \frac{1}{m'},$$

u. s. w.

Das Zerstreuungsverhältniß der verschiedenen farbigen Strahlen ist also für diese beiden Glasarten gleich, weil die Brechungsverhältnisse dieser Strahlen, oder die Räume des Spektrums, in welchen dieselben bei beiden zerstreut werden, einander proportional sind. Wenn also durch die entgegengesetzte Brechung dieser beiden Glasarten in dem achromatischen Objektiv zwei farbige Strahlen vereiniget werden, so werden auch alle übrigen vereinigt, die chromatische Abweichung wird daher vollkommen aufgehoben, und es ist kein sekundäres Spektrum vorhanden.

Dieser Erfolg wird jedoch nicht Statt finden, wenn die genannte Proportionalität nicht vorhanden ist: in diesem Falle werden nämlich durch die zwei Glasarten nur zwei Farben vereinigt, die übrigen aber nicht, weil deren Zerstreuungsverhältniß von jenem dieser beiden Farben verschieden ist, und es bleibt ein um so größerer Theil derselben unvereinigt, je größer der Unterschied der Zerstreuungsverhältnisse dieser verschiedenen farbigen Strahlen ist. Es ist bis jetzt kein Flintglas von einem bedeutenden Zerstreuungsverhältniß bekannt, daß nicht auch die einzelnen farbigen Strahlen in einem verschiedenen Verhältnisse zerstreute, als irgend ein Spiegelglas von minderem Zerstreuungsvermögen; und dieser Mangel der Proportionalität der Zerstreuungsverhältnisse der einzelnen farbigen Strahlen in beiden Gläsern ist der Grund des sekundairen Spektrums (§. 93).

stehende Erfahrungen und Angaben zeigen den Weg, auf welchem dieses erreicht werden kann.

Die wellenförmigen Streifen des Glases entstehen offenbar durch die Berührung ungleich dichter oder ungleich flüssiger Schichten (§. 291). Wenn man ein völlig rein geschmol-

---

Diese Verschiedenheit der Brechungsverhältnisse für die einzelnen farbigen Strahlen richtet sich jedoch nicht nach der Größe des Zerstreuungsvermögens des Glases, sondern ist bei verschiedenen Gläsern verschieden, so daß manche in ihrem Zerstreuungsverhalten sich jener Proportionalität mehr nähern als andere. Eben diese sind nun auch für den achromatischen Zweck am brauchbarsten, indem sie die vollkommene Vereinigung der Farben um so mehr bewirken, folglich das sekundaire Spektrum um so geringer wird, je weniger die Zerstreuungsverhältnisse der einzelnen Farben von einander verschieden sind.

Z. B. Für ein Flintglas A und ein Spiegelglas B seyen die Zerstreuungsverhältnisse der verschieden farbigen Strahlen vom Roth bis zum Violett:

1.900, 1.956, 2.044, 2.047, 2.145, 2.195;

für ein Flintglas C und ein Spiegelglas D seyen diese Verhältnisse:

1.904, 1.940, 2.022, 2.107, 2.168, 2.268.

Hier nähern sich die Zerstreuungsverhältnisse für die Gläser A und B mehr der Gleichheit als jene für die Gläser C und D; die beiden ersteren Gläser werden daher auch für die Herstellung der Achromaticität vortheilhafter zu verwenden seyn, als die beiden letzteren. Es ist übrigens nicht unmöglich, Gläser herzustellen, welche hinreichend im Zerstreuungsvermögen differiren, und dabei in demselben Verhältnisse die verschieden farbigen Strahlen zerstreuen, und welche daher eine vollkommene Achromaticität bewirken könnten. Bis jedoch eine solche Entdeckung zu Stande kommt, muß man in der Wahl der Gläser sich dieser Eigenschaft zu nähern suchen; nach welcher diejenigen beiden Glasarten die vorzüglichsten sind, welche im Zerstreuungsvermögen am meisten differiren, und dabei die einzelnen farbigen Strahlen am wenigsten verschiedenartig zerstreuen.

zenes Glas aus dem Hafen schöpft, und es auf einer Unterlage mit einem Holze hin und her knetet, während es erkaltet; so erhält es im Inneren eine Menge solcher Streifen: darin liegt der Grund, warum die Streifen des Glases durch das Ausgießen in Plattenform und noch mehr durch das Ausblasen vermehrt werden. Selbst ein farbiges, ganz fehlerfreies Stück Glas erhält wieder Wellen und Streifen, wenn man es in einer Muffel so weit erhitzt, daß es weich wird und ausfließt, und dann bei dem Erkalten ungleich abkühlt: die kälteren und festeren Theile ziehen sich zusammen, und verlieren dadurch ihre homogene Verbindung mit den noch weichen zähflüssigen Theilen, die dadurch eine unordentliche Verschiebung erleiden.

Die gleichförmige Vereinigung des Bleiglases mit dem Kiesel oder dem Pottaschenglas geht nur langsam und allmälig von Statten; die Schmelzzeit bei dem Flintglase muß daher verlängert werden, und auch jene für das optische Spiegelglas muß länger seyn, als für diese Gläser zu dem gemeinen Gebrauche. Es ist für jene nicht nur, wie für diese, die vollkommene Schmelzung der Materialien erforderlich, so daß die Tropfenprobe ein rein geschmolzenes Glas zeigt; sondern die Schmelzung muß noch so lange fortgesetzt werden, bis die homogene Verbindung durch die ganze Masse erfolgt ist. Es ist wahrscheinlich, daß diese verlängerte Schmelzzeit durch Umrühren der geschmolzenen Masse mit einer eisernen Krücke abgekürzt werden könne, weil dadurch die am Boden liegende dichtere Masse vertheilt, und dann von der übrigen Masse um so leichter aufgenommen wird. Die nachfolgende Verfahrungsart macht jedoch diese Operation, die das Glas auf andere Weise verunreinigen könnte, überflüssig.

§. 298. Ein Haupt- und wesentlicher Umstand, der bei

dieser Glasschmelzung zu beobachten ist, und auf welchem das ganze Gelingen beruht, scheint mir folgender zu seyn. Bei den in den gewöhnlichen Glasöfen eingesetzten Hafen ist in Folge der Art der Feuerung und der Ofen-Konstruktion der obere Theil des Hafens bedeutend wärmer als der untere; so daß die Hitze dieses unteren Theiles in der Regel mehr als um ein Drittheil niedriger ist, als jene des oberen Theiles. Dieses ist nun, zumal für das Flintglas, dessen metallischer Bestandtheil sich wegen seiner bedeutenden Schwere ohnehin gegen den Boden des Hafens zieht, gerade das Entgegengesetzte von demjenigen, was die gleichförmige Mischung der Glasmasse zu Stande bringen könnte. Denn da der untere Theil des Hafens kälter ist; so wird die in demselben befindliche, ohnedem selbst beim Pottaschenglas immer etwas dichtere Glasmasse immer in demselben sitzen bleiben, ohne sich mit der oberen mehr heissen und flüssigen Masse homogen vermischen zu können. Es ist also auch unmöglich, daß bei dieser gewöhnlichen Schmelzungsart ein homogenes und streifenfreies Glas selbst in dem Falle, als man es ruhig in dem Hafen erkalten läßt, erhalten werde.

Wenn wir im Gegentheile annehmen, daß der Boden und der untere Theil des Hafens bedeutend mehr erhitzt sey, als der obere Theil; so wird die natürliche Folge davon seyn, daß die untere nunmehr viel heißere und viel flüssigere Masse in die Höhe steigt, während die obere Masse niedersinkt; so daß nun in der That in der Glasmasse des Hafens jene Circulation Statt findet, welche bei allen Flüssigkeiten vorhanden ist, die man in einem Gefäße von unten erwärmt; durch welche Circulation alle Theile der Flüssigkeit, selbst wenn diese ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, nicht nur ganz gleichförmig erhitzt, sondern auch vollkommen mit einander in Berührung gebracht und gemischt werden. Es hängt sonach, wenn die Glasmasse

zuerst rein geflossen ist, nur noch von der für einen bestimmten Glassatz durch eine einzige Erfahrung zu bestimmenden Zeit ab, jene noch zur vollkommenen Mischung der Masse nöthige Erhitzung fortzusetzen, um gewiß zu seyn, ein vollkommen streifenfreies und homogenes Glas zu erhalten.

Die Gleichförmigkeit der Temperatur der ganzen Masse, welche durch dieses Verfahren bewirkt wird, ist mit der gleichförmigen Mischung der Masse wesentlich verbunden, weil die heißeren Stellen immer dünnflüssiger und weniger dicht seyn werden, als die kälteren.

§. 299. Hieraus folgt, daß das optische Glas in einem gewöhnlichen Glasofen (bei dessen Konstruktion die größere Hitze des oberen Theiles des Hafens zum Theil Zweck ist), nicht geschmolzen werden könne; sondern daß dazu ein eigener mit einem einzigen Hafen versehener Ofen hergestellt werden müsse.

Dieser Ofen, welcher cilindrisch ist, und nicht viel mehr in der inneren Weite zu haben braucht, als daß der Glashafen, der drei bis vier Centner Masse fassen kann, noch den gehörigen Spielraum für das Feuer um denselben übrig läßt, ist in der Art, wie ich ihn für diese Operation zweckmäßig und entsprechend halte, in der Figur LI im Durchschnitte vorgestellt. A ist der Glashafen, welcher auf dem aus feuerfesten Ziegeln in Form eines Gewölbes gemauerten Roste ab steht, dessen Oeffnungen hinreichend weit sind, damit die Flamme ungehindert durch dieselbe an den Boden und die Seitenwände des Hafens anschlagen könne. Auf diesem Roste ist der Hafen auf den schmalen Kanten feuerfester und mit feuerfestem Lehm auf die Ziegeln des gewölbten Rostes aufgekitteter Ziegeln aufgestellt. Die mittlere runde Oeffnung dieses Gewölbes, welche unmittelbar unter dem Boden des Hafens liegt, ist die größte. Etwa 2

bis $2\frac{1}{2}$ Fuß unter diesem Roste liegt der Feuerrost cd, gleichfalls aus feuerfesten Ziegeln in Form eines flachen Gewölbes hergestellt; die Oeffnungen desselben sind groß genug, damit die von dem flammenden Holze abfallenden Kohlen ungehindert durchfallen können. e ist die verschließbare Heitzthüre; f die Aschenthüre; B, C sind die beiden Arbeitsöffnungen, die mit thönernen Stöpseln oder Thüren verschließbar sind, um den Luftzug nicht zu stören. Auf der, der Einheitzthüre entgegengesetzten Seite des Ofens ist eine größere gewölbte Oeffnung befindlich, durch welche der Hafen in den Ofen gebracht wird, auch wegen der vorzunehmenden Reparaturen ein Arbeiter in denselben gelangen kann. Der Luftzug findet in der Regel durch die Aschenthüre f Statt, durch welche auch dieser Zug und die Hitze beliebig regulirt werden kann. Anwärmung und Feuerungsart bis zum Reinschmelzen des Glases sind bei diesem Ofen übrigens dieselben, wie nach der gewöhnlichen Weise.

§. 300. Beim Eintragen der Materalien in den Hafen scheint es mir beim Flintglase vortheilhaft, zuerst den Quarz mit der Pottasche, dem Salpeter, dem Braunstein und etwa dem vierten Theil der Mennige nach und nach einzutragen; und erst nach der Schmelzung dieses Gemenges den übrigen Theil der Mennige zuzusetzen.

Wenn das Probeziehen die reine und völlige Schmelzung der Glasmasse angezeigt hat; so setzt man das Feuer in der zum Heißschüren nöthigen Hitze fort, um die oben erwähnte Circulation der flüssigen Masse bis zu ihrer gleichförmigen Mischung fortzusetzen. Nach einiger Zeit muß man dann eine kleine Portion des Glases herausnehmen, und nach dem Erkalten die Bruchstücke derselben auf ihre Streifenlosigkeit untersuchen, bis man endlich die gehörige Vollkommen-

heit erreicht zu haben glaubt. Sind der Bau des Ofens, die Quantität der Materialien, und die Qualität des Brennmaterials dieselben; so ist, wie bereits oben bemerkt worden, eine einzige Erfahrung hinreichend, um über diese Zeit des Auskochens der Glasmasse den sicheren Anhaltspunkt zu geben.

§. 301. Ist die Vollkommenheit der Masse erzielt, so muß dieselbe nun auch der gleichförmigen Abkühlung überlassen werden, aus dem bereits angegebenen Grunde (§. 296). Dieses geschieht am besten dadurch, daß man die Glasmasse in dem wohlverschlossenen Ofen der ruhigen Abkühlung überläßt. Die Abkühlung eines solchen Ofens, dessen Mauerwerk hinreichend stark ist, erfolgt so allmälig, daß keine merkliche Ungleichförmigkeit in dieser Abkühlung der Masse entstehen kann. Man verlegt daher die Arbeitsöffnungen sowohl, als auch die Schür- und Heitzöffnung mit Ziegeln und Lehm, verschließt auch zum Theil den Rauchfang mit einer Schiebthüre, und überläßt den Ofen der Ruhe.

Ist der Ofen so weit abgekühlt, daß keine Glühhitze mehr in demselben vorhanden, folglich das Glas schon völlig hart geworden ist; so wird der Ofen wieder geöffnet, damit er sich vollends abkühlt; und hierauf durch die Einführöffnung der Hafen zerschlagen, und die in demselben befindlichen, in verschiedene Stücke zersprungenen oder leicht zersprengbaren Massen herausgenommen.

Nach dieser hier beschriebenen Art hängt man bei der Bereitung des optischen Glases nicht mehr vom Zufalle ab: man hat es in der Gewalt, durch die eingeleitete Circulation der flüssigen Masse ihre vollkommene Gleichförmigkeit in jedem Falle herzustellen; und ich bin, nach dem Vielen, was ich über diesen Gegenstand gedacht und zum Theil versucht habe,

überzeugt, daß das von mir beschriebene Verfahren keinem mißlingen wird, der übrigens in der Glasschmelzerei die nöthige Erfahrung besitzt.

§. 302. Die einzelnen schalig abgesonderten größeren und kleineren Stücke, die man durch diese Schmelzungen erhält, werden nun zum achromatischen Gebrauche auf folgende Art verwendet. Man nimmt nämlich ein solches Stück, von dem, der daraus zu verfertigenden Linse, entsprechenden Gewichte, schlägt von demselben die scharf hervorspringenden Ecken ab, und legt es in eine thönerne Schale, welche mit feinem Sande angefüllt ist, welchen man vorher durch Eindrücken einer Linse von der gehörigen Größe die beiläufige Form des herzustellenden Glases gegeben hat. Diese Schale stellt man nun unter eine rothglühend geheitzte Muffel, um das Glas weich zu machen. Das Glasstück senkt sich sonach durch sein eigenes Gewicht nieder, breitet sich in der Schale aus, und stellt nach dem allmäligen Abkühlen eine rohe Glaslinse von der verlangten Form dar, welche zum Schleifen vorbereitet ist. Auf diese Art lassen sich aus jenen Stücken Linsen von jeder Größe herstellen, und für den Fall, als ein einzelnes Glasstück hierzu nicht Masse genug hätte, lassen sich auch zwei dazu anwenden, da beim Einsenken sich ihre Berührungsflächen ohne Spur vereinigen, wenn keine zufälligen Verunreinigungen, als Staub und Asche, dazwischen kommen. Für ganz kleine Linsen behält das Stückchen Glas, das man dazu verwendet, nach dem Erweichen eine kugliche Form; man muß es daher aus der Muffel nehmen, und es durch Aufpressen eines dazu geformten Holzes auseinanderdrücken, um ihm die erforderliche Größe und Form zu geben.

Bei diesem Einsenken muß man Acht haben, daß das Glasstück gleichmäßig erhitzt werde; so daß nicht etwa der eine

Theil zu fließen anfängt, wenn der andere noch hart ist, und eben so muß die Abkühlung gleichförmig und allmälig geschehen, durch Vorrückung des Glases an die weniger heißen Stellen der Muffel, die deßhalb eine etwas bedeutende Länge haben muß, damit nicht aus beiden Ursachen (§. 296) neuerdings Streifen in das Glas gebracht werden.

Bayerische Staatsbibliothek München

Verbesserung.

Seite 255 dritte Zeile von oben, ist nach »aufruhen zu lassen« einzuschalten:

die Linsenfläche auf dem Mittelpunkte dieser Unterlage, welcher mit einem stählernen vorn abgerundeten und vollkommen polirten Stift versehen seyn kann, im Bogen zu bewegen, hiernach die Radiusstange so lange zu verlängern und zu verkürzen, bis der Fühlhebel während einer solchen Bewegung in Ruhe bleibt, und 2c.

Inhalt.

Einleitung.

Von dem Fernrohr im Allgemeinen. §. 1 — 4.

Erster Abschnitt.

Von der Brechung des Lichtes durch die Linsen im Allgemeinen.

Von der Brechung der Lichtstrahlen. §. 5 — 20.

Von der Brechung der Strahlen durch die Linsen. §. 21 — 29.

Von den Vereinigungsweiten der Linsen. §. 30 — 52.

Von der Darstellung des Bildes durch die Linse. §. 53 — 59.

Von dem Sehen durch die Linsen. §. 60 — 65.

Zweiter Abschnitt.

Von der Herstellung vollkommener Objektive für das Fernrohr.

Von der Unvollkommenheit des Bildes wegen der Kugelgestalt der Linse. §. 66 — 76.

Von der Unvollkommenheit des Bildes wegen der Farbenzerstreuung. §. 77 — 86.

Von der achromatischen Einrichtung des Objektivs eines Fernrohrs. §. 87 — 95.

Aufhebung der sphärischen Abweichung in diesen Objektiven. §. 96 — 98.

Berechnung der Krümmungshalbmesser der aplanatischen Objektive. §. 99 — 114.

Dritter Abschnitt.

Von der Bestimmung der Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse der Glasarten. §. 115 — 116.

Von der Bestimmung des Brechungsverhältnisses der Glasarten. §. 117.

Ableitung des Brechungsinder aus der Vereinigungsweite und den Krümmungshalbmessern der Linse. §. 118 — 129.

Beschreibung eines Instrumentes zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisses zweier Glasarten. §. 130—131.

Gebrauch des Instruments zur Bestimmung des Brechungsvermögens. §. 132 — 138.

Von der Bestimmung des Zerstreuungsvermögens der Glasarten. §. 139 — 140.

Von der Bestimmung des Zerstreuungverhältnisses durch ein Probeobjektiv. §. 141 — 143.

Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses mittelst des beschriebenen Instruments. §. 144 — 151.

Vierter Abschnitt.

Von der Einrichtung des Fernrohrs und deren Bedingungen.

Einrichtung und Verhältnisse des astronomischen Fernrohres. §. 152 — 166.

Von den Verhältnissen zwischen Brennweite und Oeffnung des Objektivs, Helligkeit, Vergrößerung und Gesichtsfeld des Fernrohrs. §. 167 — 178.

Von den achromatischen Okularen. §. 179 — 184.

Von dem achromatischen Doppelokular. §. 185 — 199.

Von dem achromatischen dreifachen Okular. §. 200 — 204.

Von dem achromatischen vierfachen Okular. §. 205 — 223.

Von dem konkaven Okular, oder dem Galiläischen Fernrohr. §. 224 — 230.

Fünfter Abschnitt.

Von der technischen Ausführung der optischen Arbeiten zur Herstellung des Fernrohrs. §. 231.

I. Von dem Schleifen der Linsen zu den Fernröhren. §. 232.
Das Schleifen aus freier Hand. §. 233 — 241.
Das Schleifen aus dem Radius und Beschreibung einer dazu gehörigen Maschine. §. 242 — 268.
II. Von dem Centriren der Gläser. §. 269 — 275.
III. Von der Centrirung und Zusammensetzung des Objektivs. §. 276 — 283.
IV. Von der Centrirung des Rohres. §. 284 — 290.
V. Von der Verfertigung des Glases zu den Linsen. §. 291 — 302.

Fig. I.

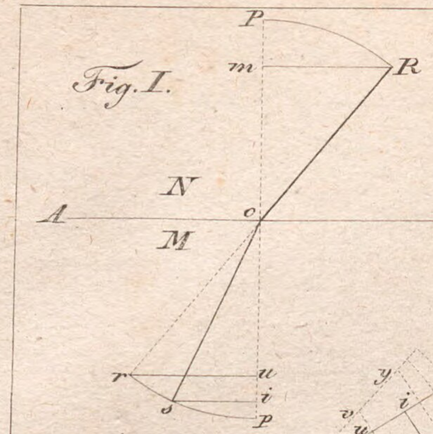


Fig. II.

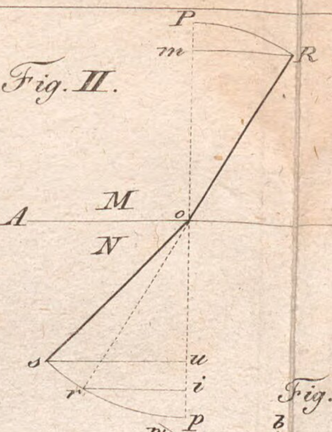


Fig. III.

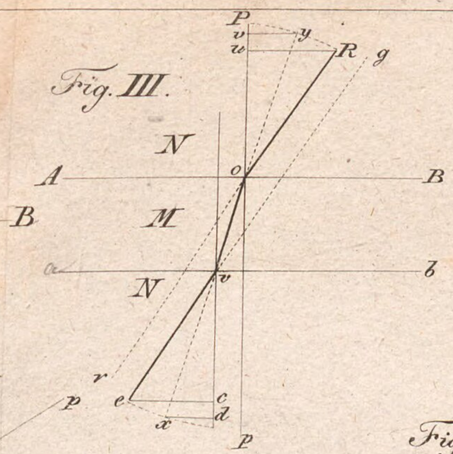


Fig. IV.

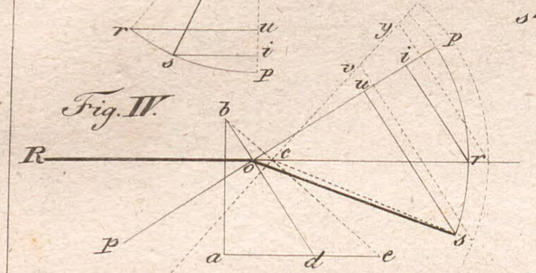


Fig. V.

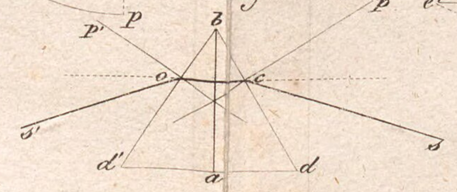


Fig. VI.

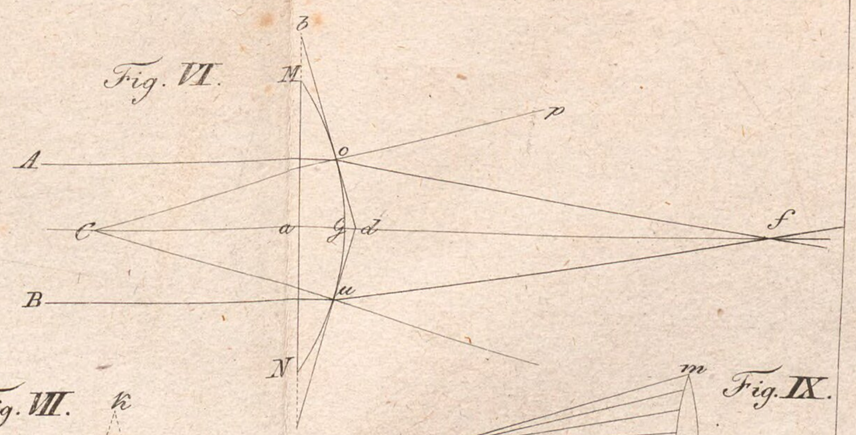


Fig. VII.

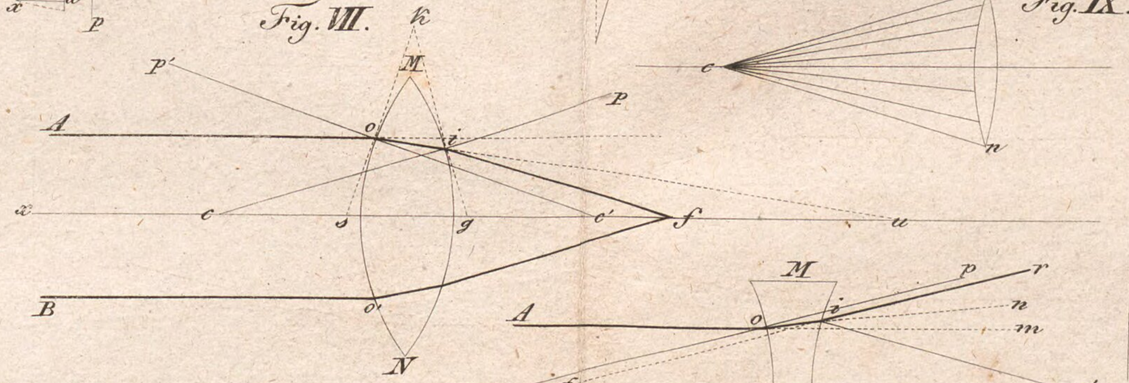


Fig. VIII.

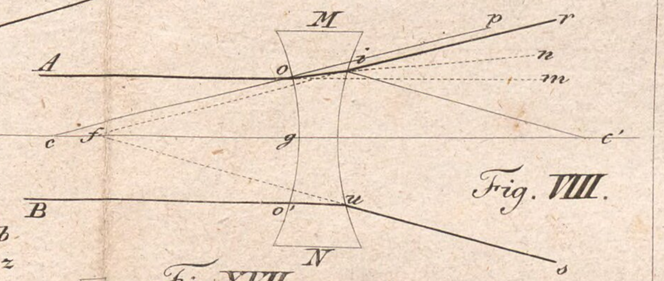


Fig. IX.

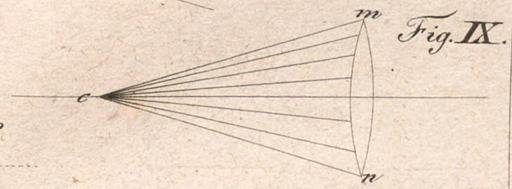


Fig. X.

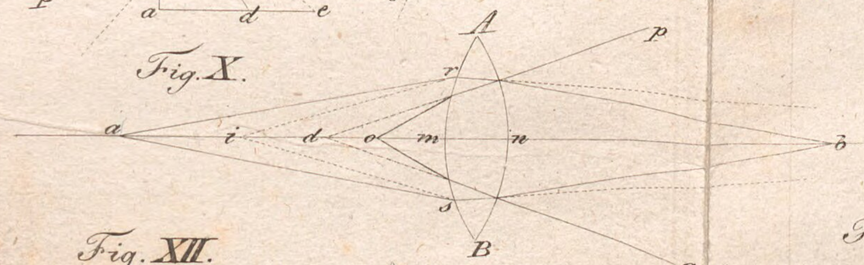


Fig. XI.

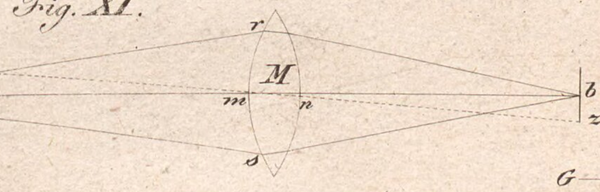


Fig. XII.

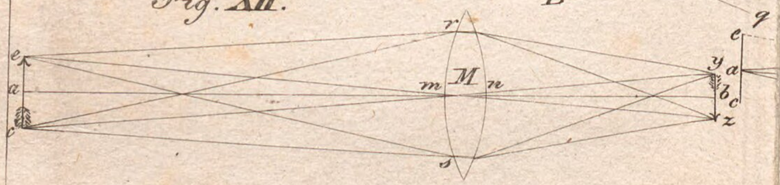


Fig. XIII.

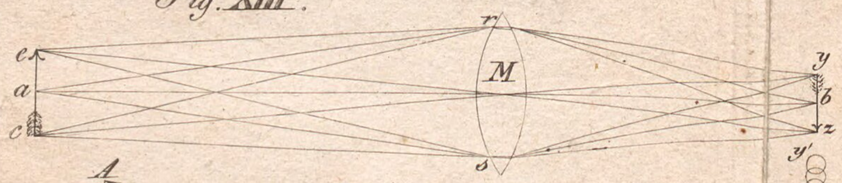


Fig. XIV.

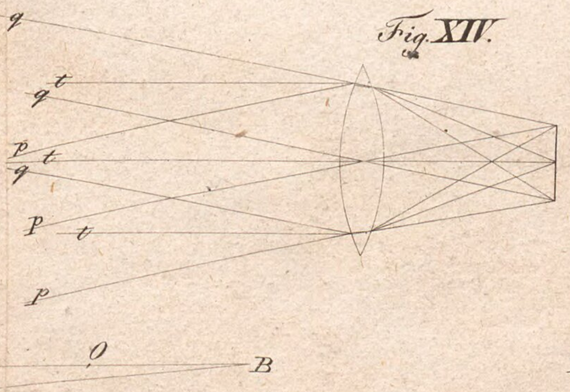


Fig. XV.

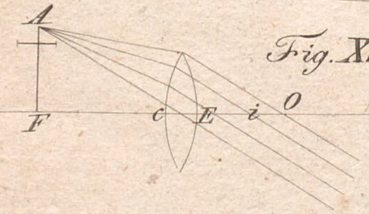


Fig. XVI.

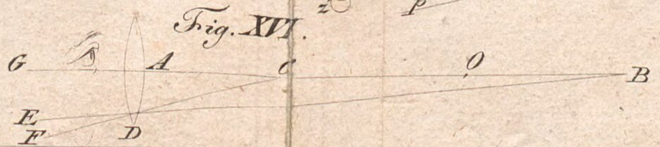


Fig. XVII.

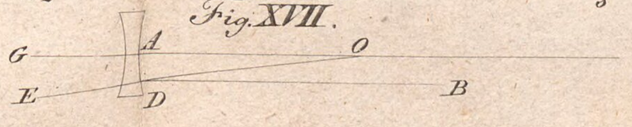
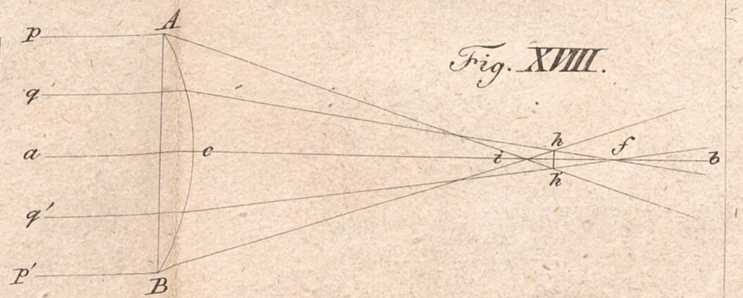


Fig. XVIII.



M. Aigner sc.

Fig. XIX.

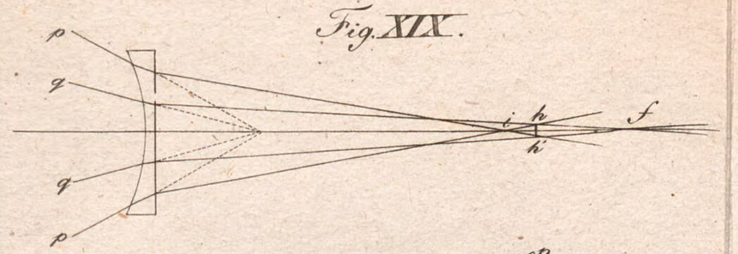


Fig. XX.

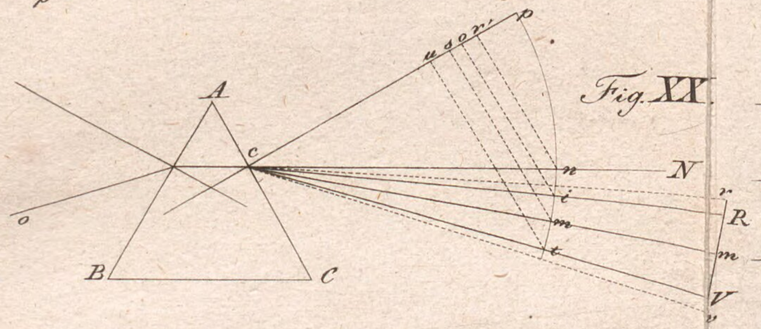
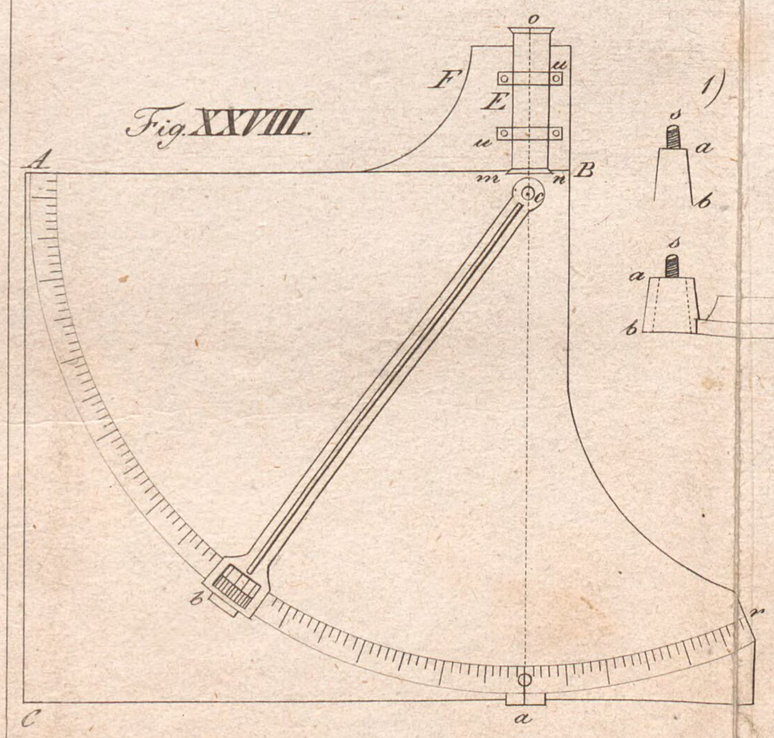


Fig. XXVIII.



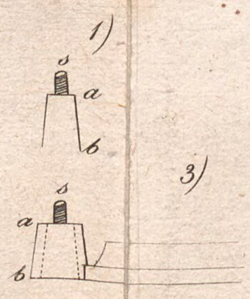


Fig. XXI.

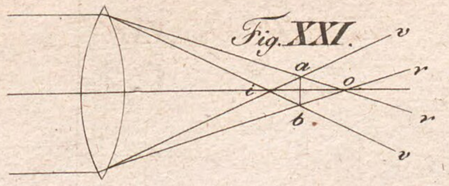


Fig. XXII.

Fig. XXIII.

Fig. XXV.

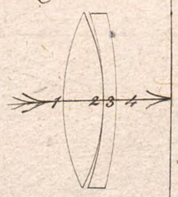


Fig. XXIII.

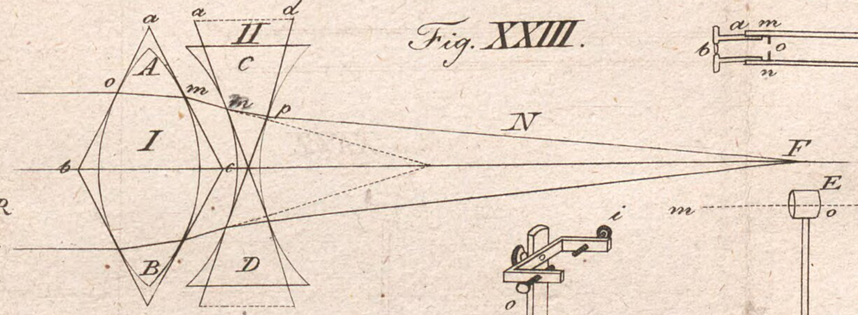


Fig. XXVII.

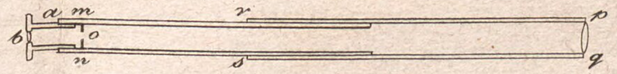
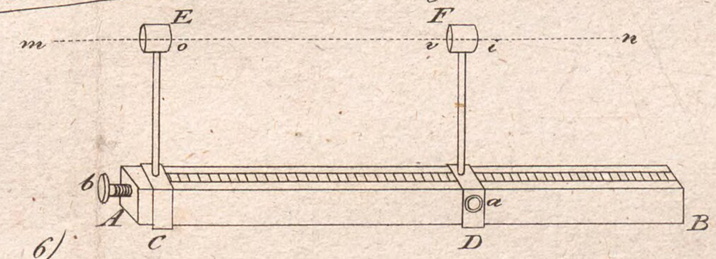
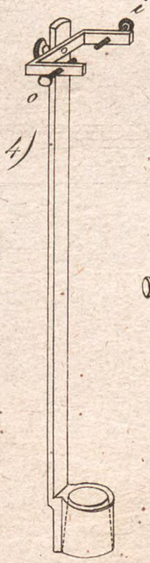
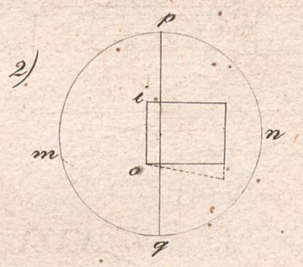
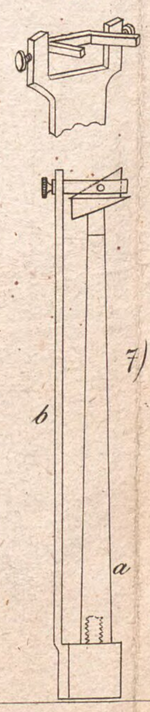


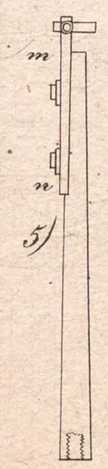
Fig. XXVI.











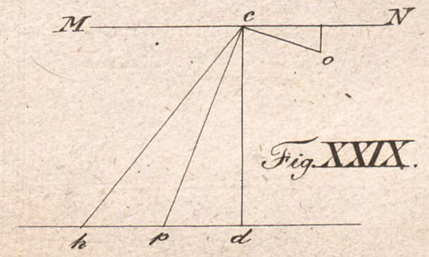
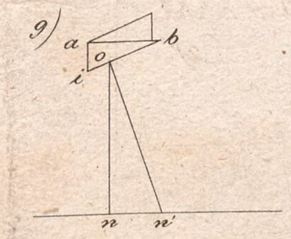


Fig. XXIX.

Zu Fig. XXVIII.



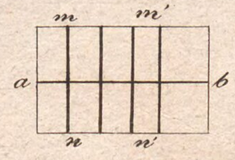


Fig. XXXI.

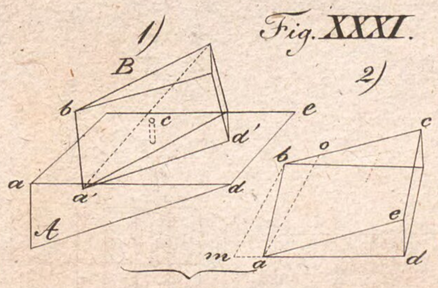
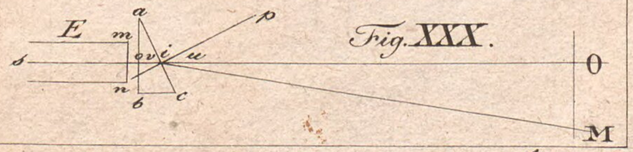


Fig. XXX.



Aigner sc.

Fig. XXXII.

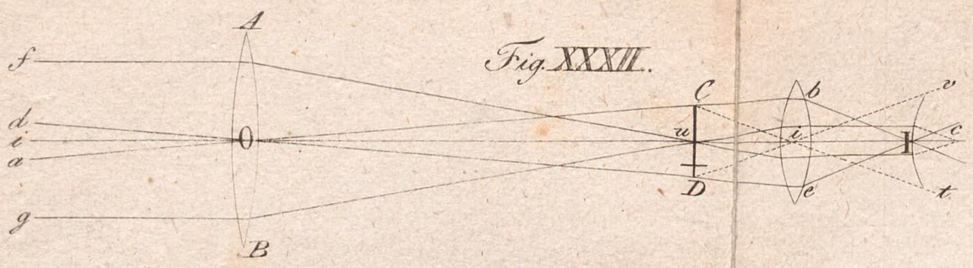


Fig. XXXIII.

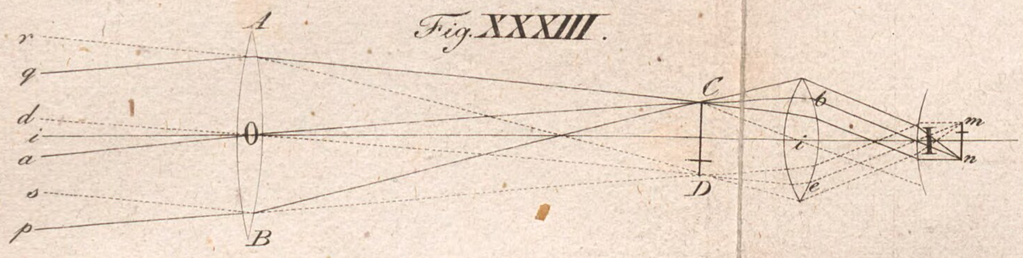


Fig. XXXIV.

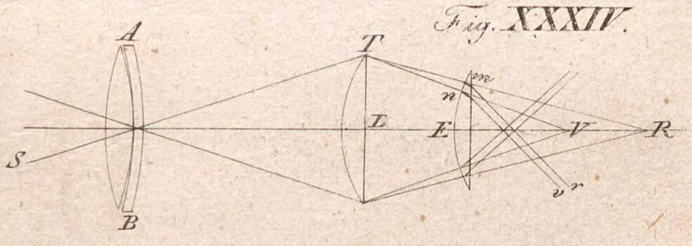


Fig. XXXVIII.

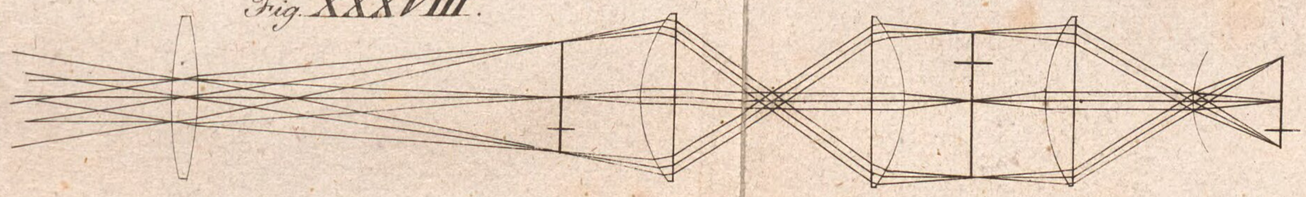


Fig. XXXIX.

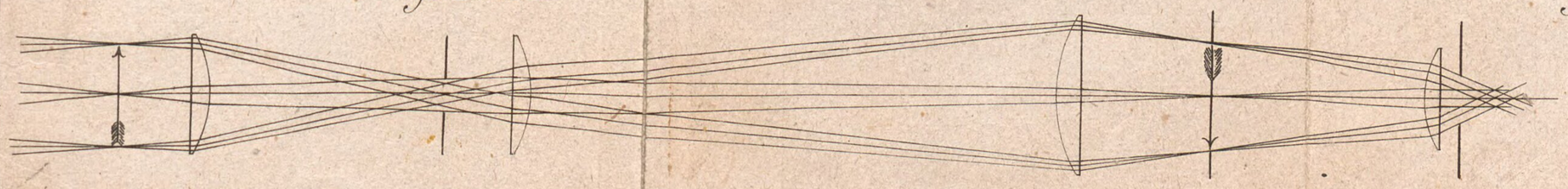


Fig. XXXVI.

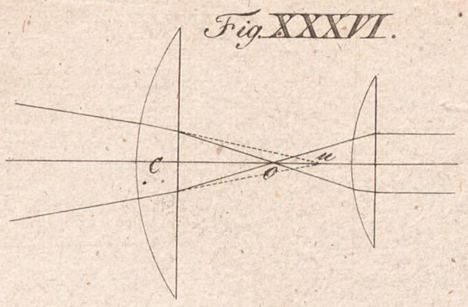


Fig. XXXVII.

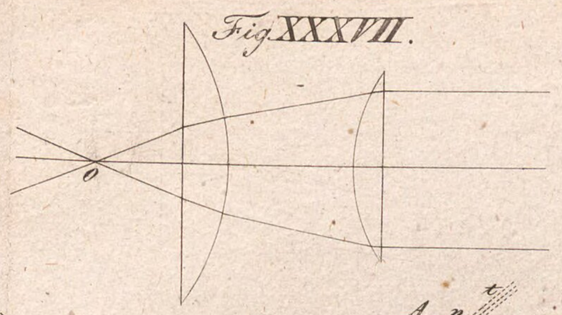


Fig. XLII.

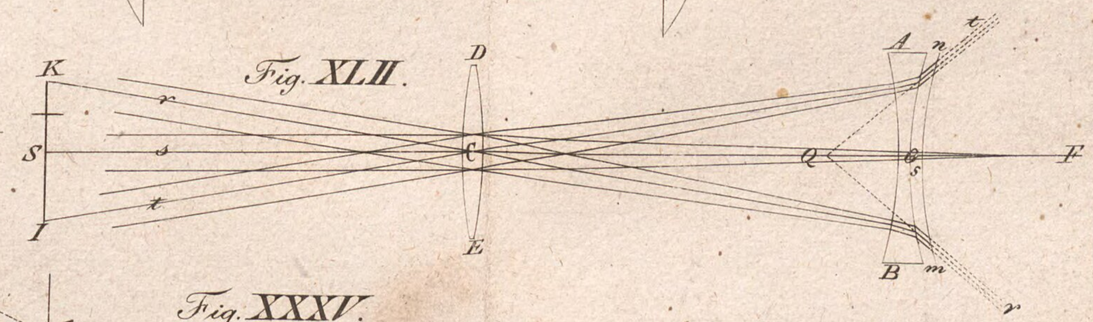


Fig. XXXV.

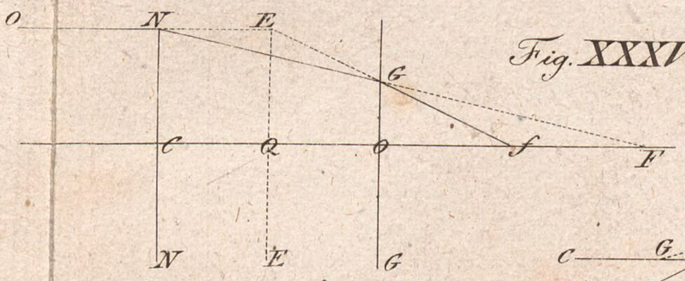


Fig. XL.

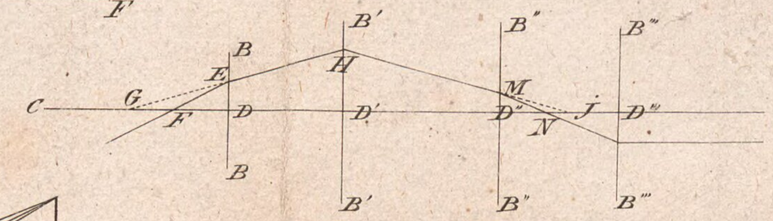


Fig. XLI.

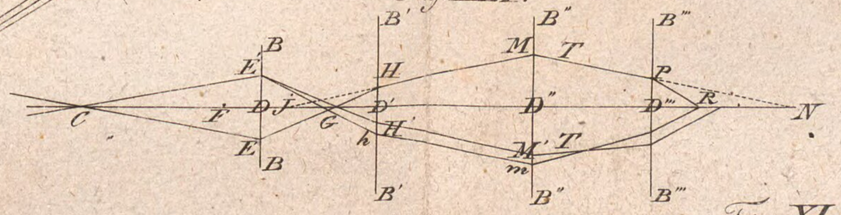


Fig. XLIII.

Aigner sc.

Fig. XLV.

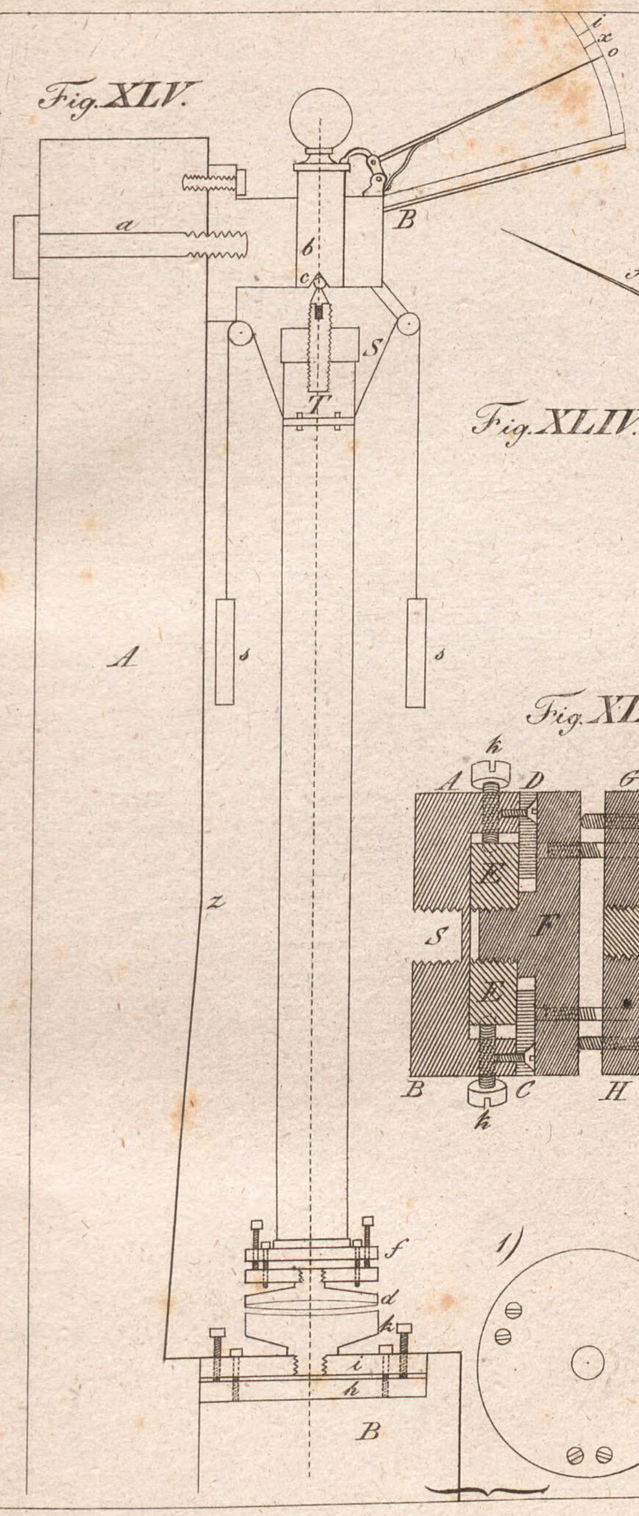


Fig. XLIV.

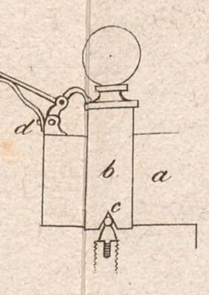


Fig. XLVII.

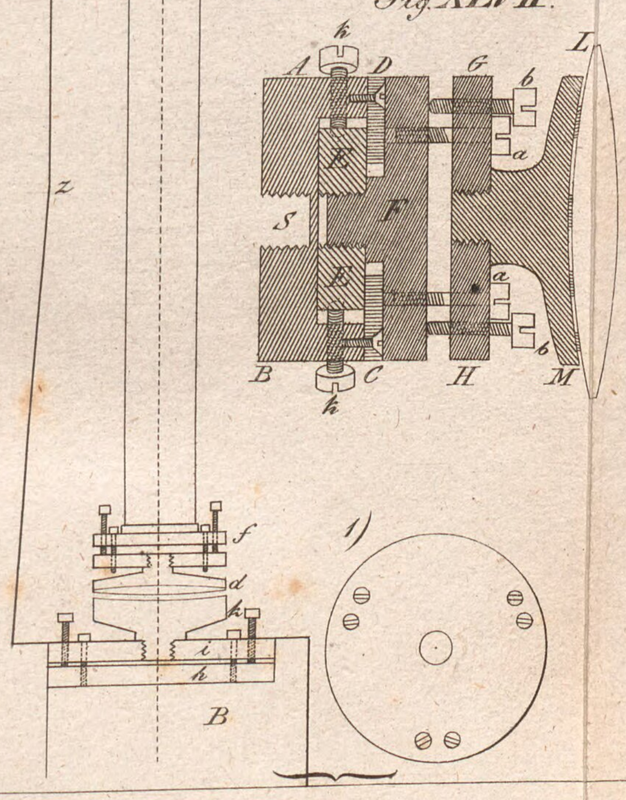
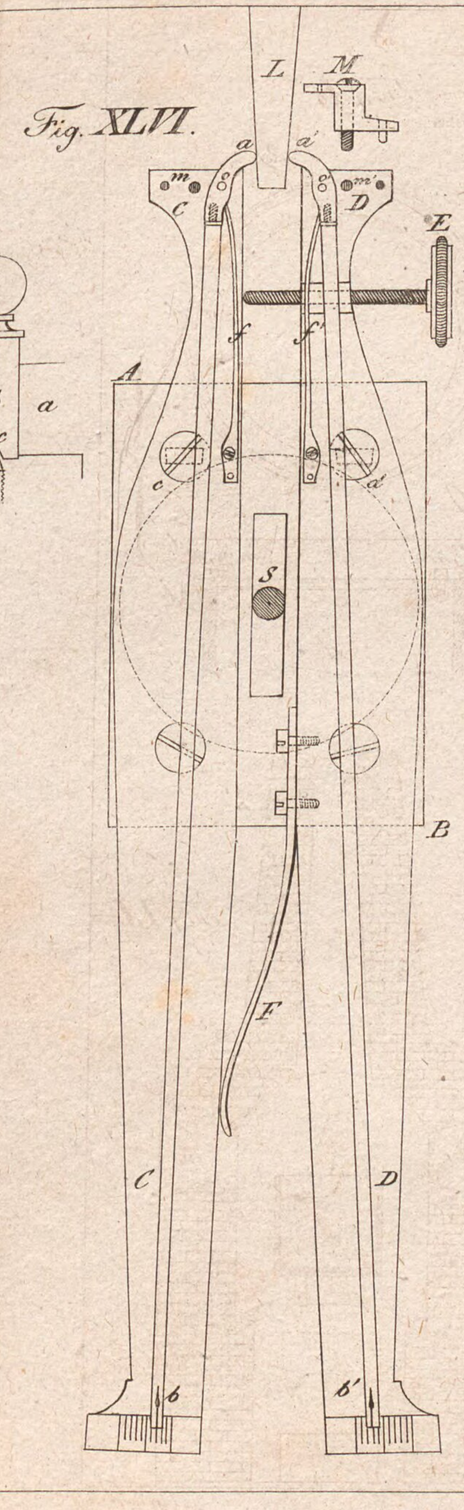


Fig. XLVI.



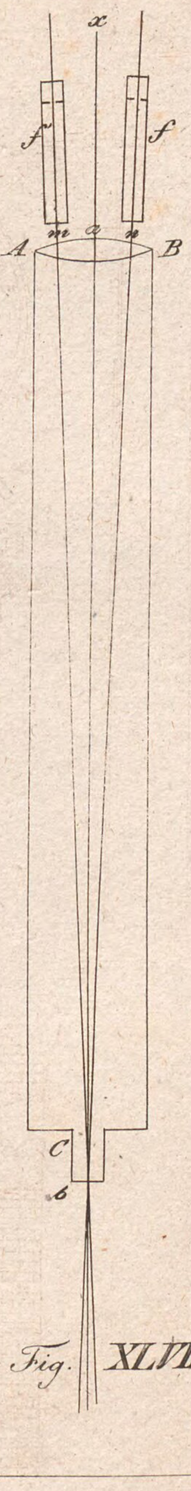


Fig. XLVIII.

Fig. XLIX.

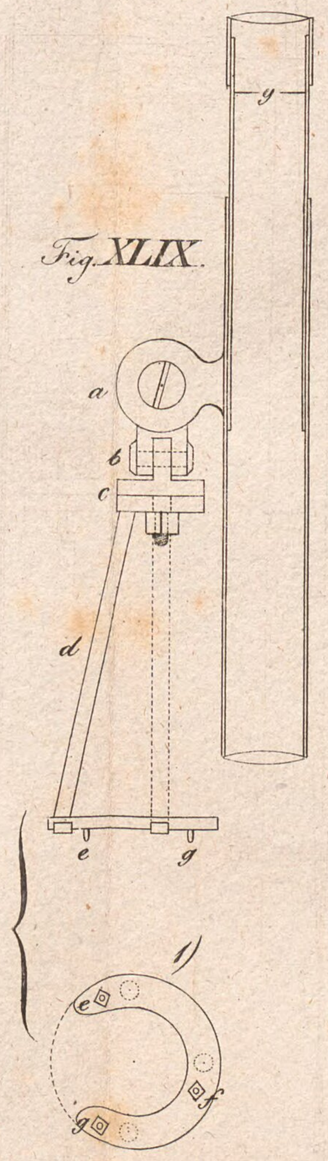


Fig. L.

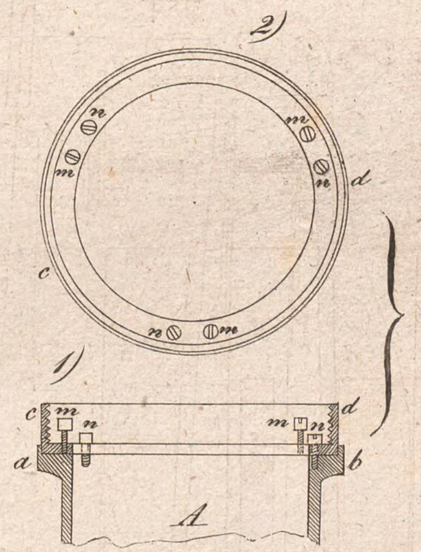
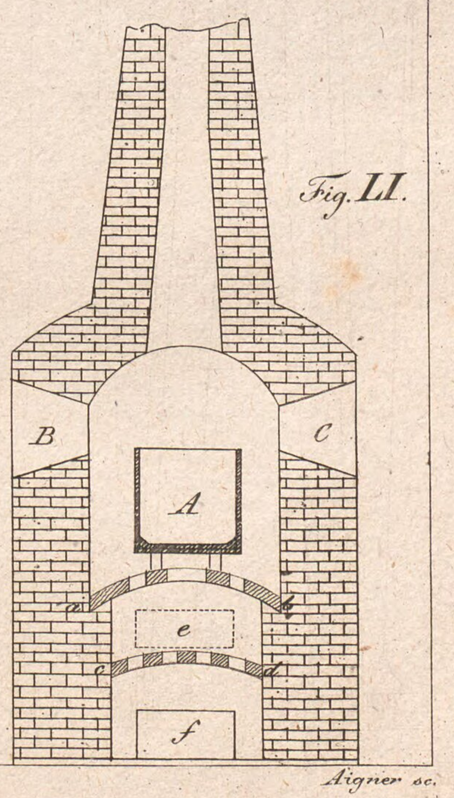


Fig. LI.



Aigner sc.

Buchbinderei

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Prechtl, Johann Joseph <<von>>,

Praktische Dioptrik als vollständige und gemeinfaßliche Anleitung zur Verfertigung achromatischer Fernröhre nach den neuesten Verbesserungen und Hülfsmitteln und eigenen Erfahrungen

Wien 1828

Math.a. 327 p
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10081336-7